



TUBAF

Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.



JAHRESBERICHT 2023/24 ZENTRUM FÜR EFFIZIENTE HOCHTEMPERATUR-STOFFWANDLUNG



Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,

für den vorliegenden Jahresbericht 2023/24 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. Damit repräsentiert das während der Antrags- und Bauphase entstandene partnerschaftliche Zusammenwirken bereits einen wesentlichen Kern des Zentrumsgedankens.

Das Gebäude erfüllt alle Erwartungen an ein inspirierendes wissenschaftliches Umfeld und es sind soziales und auch kulturelles Leben eingezogen. 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. Es ist bestimmt leicht, dort auch eine Einladung für vertiefende Betrachtung zu erhalten. Nicht nur der Innenhof, sondern auch die Installation „Solaris“ im Foyer sowie die begonnene Wechselausstellung „Kunst trifft Wissenschaft“ gehören zum inspirierenden Gedanken.

So ist das Haus auch laufend im Rahmen der Aktivitäten der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter um Prof. Carsten Drebenstedt im Zusammenhang mit ihrer schönen Ausstellung „Vom Salz des Lebens“ durch Schulklassen frequentiert, was die Forschungseinrichtung zusätzlich besetzt. Das Demonstrationslabor für Schulklassen und externe Gäste befindet sich in weiterer Entwicklung; dazu tragen bereits regelmäßige Besuche Interessierter bei. Hinzu kam erfreulicherweise die Möglichkeit, ein Stipendienprogramm unter Förderung des Stifterverbandes einzurichten. Am ZeHS konnte erfolgreich eine Ringvorlesung, die auch zur Vernetzung der Mitglieder maßgeblich beiträgt, etabliert werden. Alle genannten Angebote werden u. a. im Heft „proWissen“ der Universität kommuniziert. Auch das Hausmagazin des Vereins der Freunde und Förderer „Acamonta“ bildet eine laufend gepflegte Quelle, über die Entwicklungen im Hause zu erfahren.



Ein Beispiel für spontane Weiterentwicklung im Bereich der Forschung ist die Einrichtung eines Kooperationslabors für Ultraschall Diagnostik, das u. a. durch die Arbeitsgruppen von Jun.-Prof. Kupsch und Prof. Lutz Krüger getragen wird. Im Bereich der Forschung gibt es natürlich zielgerichtet Fortschritte und die Forscherinnen und Forscher kommunizieren stetig in höchstrangigen internationalen Fachzeitschriften und dokumentieren somit den Wert der wissenschaftlichen Arbeiten am ZeHS. Einen Überblick vermittelt das vorliegende Heft.

Für eine weitere Vernetzung der Arbeitsgruppen am ZeHS, deren individuelle Kompetenzen im Zusammenwirken das Haus tragen, treffen der Wissenschaftliche Sprecher und das Direktorium weiterhin Sorge. Dazu ist jeweils die aktive Beteiligung an Förderwettbewerben ein leitendes Instrument und es gilt auch ganz aktuell, die Daumen zu drücken, diesbezüglich weitere finanzielle Unterstützung zu erhalten.

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

Das ZeHS lebt maßgeblich durch die Aktivitäten der einzelnen Institute. Die Gestaltung damit verbundener interdisziplinärer Zusammenarbeit und messbarer Erfolge finden Ausdruck in der täglichen Arbeit am ZeHS.

Mit besten Grüßen und herzlichem Glückauf

A handwritten signature in blue ink that reads "Dirk C. Meyer". The signature is fluid and cursive.

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

INHALTSVERZEICHNIS

Das ZeHS	4
Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung	6
Soziales Leben	11
Schüleruni	12
Promovierendenforum	14
Vom Salz des Lebens	15
ZeHS-Kolloquium	16
Architektur	20
Kunst am Bau	22
Vorstand des ZeHS	25

Arbeitsgruppen	26
Dr.-Ing. Martin Abendroth	28
Prof. Dr. Sebastian Aland	30
Prof. Dr. Christos G. Aneziris	32
Prof. Dr.-Ing. Thomas A. Bier	34
Prof. Dr.-Ing. Horst Biermann	36
Prof. Dr.-Ing. Andreas S. Bräuer	38
Prof. Dr. Tobias M. Fieback	40
Freiberger Hochdruckforschungszentrum	42
Jun.-Prof. Dr.-Ing. Sindy Fuhrmann	44
Prof. Dr.-Ing. Martin Gräbner	46
Prof. Dr. Michael Höck	48
Prof. Dr. Yvonne Joseph	50
Prof. Dr. Edwin Kroke	52
Prof. Dr.-Ing. Lutz Krüger	54
Jun.-Prof. Dr.-Ing. Christian Kupsch	56
Prof. Dr. Sven Kureti	58
Prof. Dr. Andreas Leineweber	60
Prof. Dr. Florian Mertens	62
Prof. Dr. Dirk C. Meyer	64
Prof. Dr. Serguei Molodtsov	66
Prof. Dr. Felix A. Plamper	68
Prof. Dr. Oliver Rheinbach	70
Prof. Dr.-Ing. Andreas Richter	72
Prof. Dr. Björn Sprungk	74
Prof. Dr. Matthias Zschornak	76

Forschungsprojekte	78
Aktivierung des Nitrierens – Obstructed and unobstructed growth of expanded austenite layers	80
Entwicklung neuer plasmagestützter Verfahren für thermochemische Randschichtbehandlungen	82
Extraterrestrische Ressourcentechnologien – Entwicklung neuer Regolith-Simulate und Rohstoffgewinnung	84
Gleichzeitige Schichtdicken- und Schallgeschwindigkeitsbestimmung für die multifokale Ultraschallmikroskopie	86
Kooperationslabor für Akustik	88
Kostengünstiges Temperaturmonitoring mit Hilfe von Nichtgleichgewichtssystemen	90
MiFoCo-bio: Gemischbildung und Verbrennung von Alkoholen und anderer biogener Kraftstoffe	92
NaWaHiTecMat – Umwandlung nachwachsender Rohstoffe zu Hochleistungsmaterialien	94
PNC-Control – Plasma-Nitrocarburieren mit einer Kohlenstoff-Feststoffquelle und Prozessregelung	96
ProBaSol – Die Aluminiumbatterie: Herausforderungen für die industrielle Fertigung	98
SappCU – Self adjusting plasma process control unit	100
Stromeinkopplung in Hochtemperaturprozesse mittels Lichtbogenplasma	102

Geräteinfrastruktur	104
Forschungsgroßgeräte des ZeHS	106
Zentrallabore des ZeHS	107
Analytikgeräte am ZeHS	108
Syntheseinfrastruktur am ZeHS	109
Höchsttemperaturprüfmaschine	110
<i>Small-Punch-Test</i>	111
Ultraschall-Mikroskop	112
Hochtemperatur-AFM/STM	113
Röntgenkleinwinkel- und Röntgenweitwinkelstreuanlage	114
Gaschromatographen mit gekoppelter Massenspektrometrie	115
HT-Katalysator-Teststand mit Raman-Analytik	116
Reaktionsteststand mit Thermowaage, FT-IR und GC/MS	117
Einwurf- und Lösungskalorimeter	118
Hochtemperatur-Photoelektronenspektrometer	119
Hochtemperatur-Röntgendiffraktometer für PDF-Analysen	120
Laser-Flash-Anlage	121
Mikro-Raman-Spektrometer	122
Rasterelektronenmikroskop mit <i>Focused Ion Beam</i>	123
Röntgendiffraktometer mit <i>In-situ</i> -Probenkammer	124
Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse	125
Kreuzstrahl-Laser-Ablation	126
Sol-Gel-Beschichtungen	127
Additive Fertigungsanlage Metall-Laser-Pulverbett	128
Kombinierte Sputter-FLA-Anlage	129
R2R-Anlage für die Rolle-zu-Rolle-Beschichtung	130
Schutzgas-Entbinderungs- und Sinterofen	131
Spark-Plasma-Sinteranlage	132

Publikationen	134
Impressum	152

DAS ZEHS



ZeHS



ZENTRUM FÜR EFFIZIENTE
HOCHTEMPERATUR-STOFFWANDLUNG

ZENTRUM FÜR EFFIZIENTE HOCHTEMPERATUR-STOFFWANDLUNG

Erfolgreicher Wettbewerb auf Bundesebene

Vor nunmehr über zehn Jahren durfte sich die TU Bergakademie Freiberg (TUBAF) in einen Ideenfindungsprozess im Rahmen des bundesweiten Wettbewerbs um Forschungsbauten begeben. Der Freistaat Sachsen ist im Erfolgsfalle gehalten, eingeworbene Bundesmittel in maßgeblicher Weise zu ergänzen. Deshalb erhält in jedem Jahr eine der sächsischen Hochschulen eine Chance.

Die Kriterien für eine Beteiligung lesen sich ganz ähnlich zu jenen im Exzellenzwettbewerb der Universitäten. Es gibt deutliche Implikationen auf die Ausrichtung ihrer Arbeit in nahezu sämtlichen Bereichen. Die Autoren waren seinerzeit als Mitglieder des Rektorats unter der Leitung von Rektor Prof. Bernd Meyer als Prorektor für Strukturentwicklung und maßgebliche Referentin unterwegs, was eine gute Ausgangssituation darstellte. Es gab, wie wohl zu jeder Zeit, auch politische Gewitter (parallel wurde die Einrichtung der Zuschuss- und Zielvereinbarungen verhandelt), was auf den Prozess einwirkte, jedoch zielten alle Beteiligten auf einen Erfolg.

Nach der erfolgreichen Verteidigung einer Skizze (ca. 6 Seiten) vor dem Wissenschaftsrat, wohl eine Versammlung der ca. 40 klügsten Köpfe des Landes, war der Weg zur Vollantragstellung frei. In bescheidener Sicht waren die Antragsteller und ihre Unterstützer durchgedrungen, dass unsere kleine Universität, die TUBAF in einer einzigartigen Weise über eine geschlossene Innovationskette von den Grundlagenwissenschaften der Kristallographie, Mineralogie bis hin zu industrieskaligen Anwendungen verfügt. Dies konnte im vorgelegten Dokument und der Verteidigung vor Ort in Bonn überzeugend vermittelt werden.

Eine besondere Herausforderung bestand darin, dass für das vorgesehene Zentrum 25 Professuren zu involvieren



waren, also manches stabsmäßig und vieles auch in gemeinschaftlicher Arbeit erledigt werden sollte. Ohne die Mitautorin dieses Beitrages wäre zumindest das Gemeinschaftliche nicht zu leisten gewesen. Dann gab es für den Vollantrag (ca. 30 Seiten) im ersten Gang den Hinweis, den Zentrumsgedanken weiter zu schärfen. In dem dafür zur Verfügung stehenden Jahr blieb der Freistaat Sachsen an der Seite des Projektteams und der Universität.

Es folgte die erste „Wiederholungsprüfung“: Der beteiligte Autor dieses Artikels hatte dabei das Pech, in der vorangehenden Nacht im Hotel in Bonn nicht schlafen zu können. Am Morgen klärte sich das Ganze auf: Im Nachbarzimmer seines Etablissements standen ca. acht Waschmaschinen, welche die Textilien der Etage fleißig verarbeiteten. Dennoch lief die Verteidigung erfolgreich und es gab einen Gewinn für Freiberg, den ein Einzelner gar nicht ermessen kann (41,5 Mio. Euro). Eine Stütze war der Leiter des Referats für Bauangelegenheiten des SMWKT, Michael Döring, der persönlich vor Ort war. Heute befindet sich ein Glückwunschschreiben der gemeinsamen dienstlich Übergeordneten, Staatsministerin Prof. Sabine Freifrau von Schorlemer in den Unterlagen des ZeHS.

Planung und Bau

Nun war der Weg für Planung und Bau frei. Im Architekturwettbewerb stach das Büro Heinle Wischer Partnerschaft freier Architekten mbB mit besonders kreativen Überlegungen heraus. Der Gedanke eines Zentrums mit

äußerer Schale und innerem Kern war in der Wettbewerbspräsentation besonders intensiv wahrzunehmen. So zeigt der Innenhof die Facetten der Kristalle einer Druse: Ein wahres Freiburger Kennzeichen. Hinzu kommen Teeküchen auf allen Etagen, die an Schutzhütten im Bergbau erinnern und eine Gestaltung der Laborgänge nach Stollen im Bergbau. Dem besonderen Kennzeichen des Forschungsbaus, industrieeskalige Hallen, sind große Schaufenster zugewandt, vor denen sich heute regelmäßig Schulklassen und weitere Besucher versammeln (siehe Abbildung 1).

Die Bauzeit verlief ausgesprochen harmonisch. Für Bauten im öffentlichen Bereich ist der Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (SIB) zuständig. Dort übernahm der Niederlassungsleiter Freiberg, Jörg Scholich und von Seiten der Universität begleitete im Laufenden Mandy Schön. Das Team der Autoren wurde aus dem unmittelbaren Arbeitsumfeld des Autors durch Dr. Barbara Abendroth initiativ verstärkt. Es waren sämtliche technischen Details hochinstallierter Labore und der gemeinsam genutzten Flächen über den beschriebenen Kreis detailliert zu planen.

Die Winter der Bauzeit ab 2017 waren für das Vorhaben erfreulich mild und es konnte, was vielleicht besonders zu vermerken ist, der Hochbau in der vorgesehenen Zeit errichtet werden. Mitunter standen drei bis vier Kräne auf dem Baufeld.

Eröffnung

Am 22. Februar 2021 wurde das ZeHS nach vierjähriger Bauzeit offiziell an die TUBAF übergeben. 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 freigegeben 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 Forschungs Großgeräte im Gesamtwert von 9,75 Mio. Euro. Damit erhielt der Forschungsstandort



Abbildung 1: Schüler beim Blick durch die Schaufenster in die Halle des ZeHS

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 in Gegenwart und Zukunft. Gleichzeitig steht die Forschung am ZeHS in der Tradition der Kern-Forschungsbereiche der ältesten montanwissenschaftlichen Hochschule der Welt.“

Dem Wissenschaftlichen Sprecher, 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 TUBAF, unter Moderation des SIB in einer ausgesprochen konstruktiven Weise erfolgte, womit die Intentionen der



Abbildung 2: Im Juni 2024 wurden Eichen gepflanzt.

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 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.

Auch nach seiner Prorektorenzeit begleitete Professor Dirk C. Meyer das Projekt während der gesamten Bau-phase 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). Dies ergibt eine Sammlung externer Darstellungen.

Forschungsprogrammatisik

Wie nahegelegt, wurde die Forschungsprogrammatisik bereits vor ca. zehn Jahren begründet. Diese war vorausblickend auf die Anforderungen der Integration erneuerbarer Energien, insbesondere im Bereich der Grundstoffindustrie, gerichtet. Darin eingeschlossen ist die Weiterentwicklung energieintensiver Verfahren hinsichtlich des zeitlich volatilen Anfalls der Energie aus Sonne und Wind, wozu intensiv und mit messbaren Erfolgen gearbeitet wird. Damit spannt sich der Bogen Freiburger Innovationen inzwischen vom Silber über das Silizium bis hin zu den Erneuerbaren Energien, wozu hier auch weitere Pionierarbeit geleistet wurde.

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. In der damit gegebenen Matrix aus Methoden-, Stoff-, Prozess- und Systemkompetenz ist eine Qualität des Zusammenspiels sich gegenseitig ergänzender und durchdringender Wissenschaftsgebiete möglich, wie sie

nur in einem Forschungszentrum dieser Größe und strategischen Ausrichtung zu erreichen ist.

Strukturelle Kennzeichen

Das wissenschaftliche und soziale Leben des Hauses hat sich in ausgesprochen erfreulicher Weise entwickelt, was ganz ausdrücklich ein Gemeinschaftswerk ist. Das ZeHS verweist inzwischen auf eine etablierte Ringvorlesung, zu der auch das außeruniversitäre Umfeld eingeladen ist, eine Schüleruniversität, ein schönes Zusammenleben, zu der u. a. die bereits erwähnten Schutzhütten als tägliche Diskussions- und Begegnungsorte maßgeblich beitragen. Es existieren Publikationen zur fachlichen Arbeit in hochrangigen internationalen Fachjournalen und eine Ausstellung bildender Kunst rundet das Ganze ab.

Die Belegschaft ist im Durchschnitt sehr jung und so zählen auch Geselligkeit und die gemeinsame Begrüßung neuer Erdenbürger zum Miteinander. Es sind ca. 95 % der verfügbaren Flächen – insgesamt ca. 6.000 m², davon 98 Büros mit insg. ca. 1.750 m², 60 Labore mit insg. ca. 2.040 m² und 1.500 m² Hallenfläche – belegt und täglich kommen neue Ideen zu Weiterentwicklungen hinzu. Das Gebäude ist eine öffentliche Einrichtung und es ergeht hier die Einladung, dieses während der täglichen Betriebszeiten zu besuchen. Dabei ist es leicht möglich, mit den beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ins Gespräch zu kommen und auch einen Blick in die Labore zu werfen. Im Dezember gibt es auch einen schönen Weihnachtsbaum, einen Weihnachtsstern und vielleicht sogar die Gelegenheit, den Hausinhabern beim gemeinsamen Musizieren beizuwohnen. Über das Jahr hinweg begleitet das Maskottchen des Hauses – die Libelle Billie – alle auf ihren Wegen. Die kleinen Heftchen, die sich insbesondere an Kinder richten, sind über die Homepage des Hauses oder in direkter Absprache erhältlich.

Das ZeHS ist ein Bestandteil des Freiburger Wissenschaftskorridors und steht in unmittelbarer Nachbarschaft zum zeitnah errichteten Universitätsbibliotheks- und Hörsaalzentrum sowie der Neuen Mensa. Zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Beitrags wurden bereits junge, feinblättrige Eichen gepflanzt und die Herstellung des Weges befindet sich im Abschluss (siehe Abbildung 2).

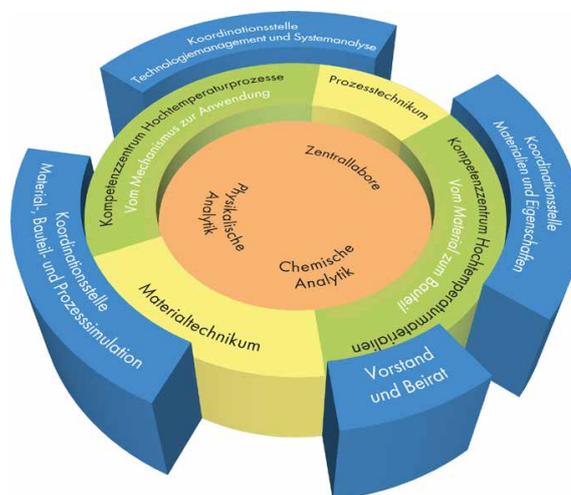


Abbildung 3: Teilbereiche des ZeHS

So ist auch aktuell wahrnehmbar, wie in Freiberg in moderner Zeit ein architektonisches Ensemble entstand, das sich in gelungener Weise mit den historischen Werten der Stadt vergleichen kann und vorwärtsweist. Freiberg geht es wohl in dieser Synthese richtig gut. Dem Bund, dem Freistaat Sachsen und allen Beteiligten sowie auch ihren Familienangehörigen darf ausgesprochen gedankt werden. Als Involvierter und Reisender in beruflichen und privaten Angelegenheiten kann gesagt werden, dass hier tatsächlich vorzügliches Weltniveau und beste Arbeitsbedingungen für Wissenschaft und damit verbundene Begegnung geschaffen wurden.

Es ist schön, dass sich im Rahmen des Formats „Kunst trifft Wissenschaft“ auch Künstler dem ZeHS zugewandt haben. Einen Auftakt bildete dabei eine Ausstellung zu Spiegelungen von Prof. Piet Joehnk, die im November 2021 eröffnet wurde. Seit Ende des Jahres 2024 wird diese durch die Ausstellung „in transition“ des Malers Walter Maria Padoa im Atrium des ZeHS ergänzt. Die großformatigen Gemälde Padoas stellen einen spannenden Dialog mit der Architektur des Gebäudes und der Forschung des Zentrums her.

Hinzugefügt sei an dieser Stelle, dass der moderne Forschungsbau auch 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



Abbildung 4: Treppenhaus im Kopfbau des ZeHS

verbundene Verwurzelung gewähren. Auch diesbezüglich sind wissenschaftliche Untersuchungen für zusätzlichen 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 erfahren werden. Ein diesbezüglicher 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.“

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.

Unterstützung

Zu dem hier beschriebenen Aufwuchs am ZeHS haben verschiedene Projektträger beigetragen. Besonderer Dank geht an 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.

SOZIALES LEBEN

Nachdem das ZeHS nunmehr wissenschaftlich und technisch etabliert ist, gibt es immer mehr Begegnungen. Dazu tragen ganz maßgeblich die von den Architekten dafür vorgesehenen Teeküchen bei. Es fällt auf, dass durch die Schüleruniversität und etwa die Ausstellung „Vom Salz des Lebens“ ganz häufig Schulklassen das Foyer bevölkern. Auch für die ZeHS-Gemeinschaft im engeren Sinne ist das Foyer täglicher Treffpunkt und soziales Zentrum bei zahlreichen Veranstaltungen wie Workshops und Tagungen. Mithilfe dieser Begegnungen rückt die zuvor lose Gruppe von Wissenschaftlern immer weiter zusammen.

Neben dem fachlichen Austausch unter Inanspruchnahme der Beratungs- und Vortragsräume ergeben sich durch die Architektur des ZeHS viele Möglichkeiten zur Vernetzung. Der ausgesprochen schöne Innenhof mit gemütlicher Bestuhlung lädt zum Plaudern und auch zum Verweilen ein, etwa zur Korrektur eines Manuskripts. Weitere häufig genutzte Orte des Zusammentreffens sind die Teeküchen auf jeder Etage des Kopfbaus. Zugleich steht in einem Büro ein elektronisches Klavier, das allgemein zugänglich ist.

Besondere Impulse durch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter führten die Gemeinschaft immer weiter zusammen. Neben einer Ausschmückung zur Adventszeit waren alle

Mitglieder zu einem gemeinsamen Weihnachtsliedersingen ins Atrium eingeladen und viele kamen. Die Vokalistinnen aus dem Hause konnten in einer vereinenden Breite instrumental aus eigener Reihe unterstützt werden.

Zum Jahresabschluss machten junge ZeHS-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter auf eigene Initiative und Finanzierung einen Ausflug in die Technischen Sammlungen Dresden und zum historischen Weihnachtsmarkt an der Frauenkirche.

Bestimmt gehört auch die Schüleruniversität in diesen Zusammenhang. Dabei wird z. B. Gitarre gespielt und getanzt. Es ist schön zu erleben, dass Lehrerinnen und Lehrer und natürlich die Schülerinnen und Schuler davon auch außerhalb berichten und es so neue Rückkopplungen gibt.

Die Gemeinschaft freut sich auf ein weiterhin geselliges Miteinander und zusätzliche Initiativen. Insgesamt bietet das ZeHS eine bauliche Hülle und, die Nutzerinnen und Nutzer betreffend, auch eine familiäre Stätte. Entsprechend sei dem Architekturbüro Heinle Wischer in Dresden für das funktionierende Konzept und allen Mitwirkenden für ihre Unterstützung und das gemeinsame Beleben gedankt.



Abbildung 1: Lernspiel „Ökologischer Fußabdruck“



Abbildung 2: Weihnachtsausflug in die Technischen Sammlungen

SCHÜLERUNI

Die Idee – Lernen mit Energie

Was ist eigentlich Feuer? Wo kommt Wärme her? Und diese Teilchen aus denen unsere Welt besteht – was tun die eigentlich den ganzen Tag? Für die kleinsten der Gäste Zentrums sind die Fragen stets im Mittelpunkt, denn:

*„Lehren heißt, ein Feuer entfachen,
und nicht, einen leeren Eimer füllen.“*
(Heraklit von Ephesos)

So ist das neue Demonstrationslabor mit Leben gefüllt, denn die Forscherinnen und Forscher der Zukunft bringen viel Energie mit. Ein Schultag in einer ganz anderen Umgebung ist ein neuer Zugang zu den Themen, auf denen der Sachkundeunterricht aufbaut. Im Fokus ist hierbei das spielerische und experimentelle Erkunden.

Das Programm besteht aus einer Schülervorlesung mit Experimenten, einem Quiz, einer Laborführung und einem Workshop zum Bau der eigenen Wärmekraftmaschine. Auch Freunde von Kunst, Basteln, Bewegung und Musik kommen hierbei auf ihre Kosten – der „Tanz der Moleküle“ ist vielleicht einprägsamer als ein sogenanntes Phasendiagramm.

Die Menschen – niemand ist zu jung zum Forschen!

Gerade am Übergang zwischen Grundschule und weiterführenden Schulen ist es wichtig, das Interesse für Naturwissenschaften zu fördern. Bei der etablierten Zielgruppe für Schüleruniversitäten (Alter ca. 14 bis 17 Jahre) ist meist schon ein recht genau abgegrenztes Feld von Interessen vorhanden und die Beziehung zu naturwissenschaftlichen Fächern deutlich ausgeprägt – als Vorliebe oder allzu oft eher als Abneigung.

Im Gegensatz dazu ist das Interesse bei einem jüngeren Publikum noch leichter zu wecken, denn die Kinder stehen neuen naturwissenschaftlichen Erlebnissen sehr offen gegenüber. Besonders gelingt dieser Einstieg mit ein paar ungefährlichen Experimenten und einer kindergerechten, übergreifenden Erzählung. Das Maskottchen des ZeHS, unsere Libelle Billie, leitet durch das Forschungszentrum.

Etwas mitnehmen kann man auch im wahrsten Sinne des Wortes: ein Infrarot-Selfie und das selbstgebaute Dampfboot. Als Schlusspunkt des Tages dann die Überreichung des Juniordiploms mit Brief und Siegel von Prof. Dirk C. Meyer, dem Wissenschaftlichen Sprecher des ZeHS.



Abbildung 1: Besuch einer Schulklasse aus Lommatzsch im Sommersemester 2024

Der Ort – viel Platz fürs Ausprobieren

Das ist kein normaler Klassenraum! Einer der größten Räume im ZeHS ist das Demonstrationslabor, welches für eine Schulklasse mehr als genügend Platz bietet. Und auch die Ausstattung macht Lust auf Experimente: Thermokamera, 3D-Drucker und kräftige Abzugshauben, wenn mal etwas raucht.

Natürlich machen die drehbaren Laborstühle auch besonders viel Spaß und dazwischen ist genügend Raum, um herumzuspringen wie gasförmige Moleküle oder miteinander zu tanzen wie Gitterbausteine in einem warmen Festkörper.

Überraschend viel Resonanz bei den Kindern erzeugten auch die architektonisch integrierten Kunstwerke des ZeHS, allem voran die Installation „Solaris“ des Künstlers Axel Anklam. Licht und Verzerrung bringen Schüler wie Erwachsene in Bewegung – so ist Kunst, die wirkt.



Abbildung 2: Bau der kerzenbetriebenen Boote (oben) und das finale Bootsrennen (unten)

Und die Zukunft

Die Schüler von heute sind die Studierenden von morgen, das weiß doch jedes Kind! Gemeinsames Experimentieren schafft eine positive Einstellung zur Technischen Universität Bergakademie Freiberg und ein gutes Gefühl für den Arbeitsraum Forschungszentrum. Das legt weitere Kooperationen zwischen Schulen und ZeHS nahe.

Nicht nur Studierende, sondern auch Techniker und anderweitig Tätige mit Ausbildung sind im Arbeitsraum Forschungszentrum sehr präsent und auch zukünftig gefragt.



Abbildung 3: Selbstbildnis in Infrarot



Abbildung 4: Der Rundgang durch das Gebäude führt an der Spiegelwand des Kunstwerks Solaris vorbei.

PROMOVIERENDENFORUM

Das Promovierendenforum am Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) bietet Doktorandinnen und Doktoranden eine Plattform des wissenschaftlichen Austauschs und zur TUBAF-internen Vernetzung.

Integriert werden so junge Wissenschaftler während ihrer Promotionsphase, um die Forschungsfragestellungen gemeinsam aus den beteiligten interdisziplinären Fachrichtungen zu entwickeln. Ziel ist es, untereinander neugierig und ungezwungen Ergebnisse diskutieren zu können. Außerdem geht es um die gegenseitige Unterstützung bei Fragestellungen rund um die Promotion. Messmethoden, verschiedene Softwaretools, Herangehensweisen bei wissenschaftlichen Fragestellungen oder der Ablauf des Promotionsverfahrens sind nur eine Auswahl der untereinander besprochenen Themen.

Der ca. 100 Hörer fassende Vortragssaal des ZeHS bietet eine ideale Gelegenheit, sich durch Vorträge zu laufenden Arbeiten (auch ohne ganz großen Vorbereitungsaufwand) gegenseitig zu informieren, kennenzulernen und so Kooperationen zu begründen und zu vertiefen. Auch Ausflüge an die beteiligten Institute und thematische Workshops mit anderen organisierten Promovierenden im inspirierenden, schönen Gebäude und Innenhof des Zentrums bieten Gelegenheit für die wissenschaftliche Vernetzung.

Hintergrund und Fokus

Eine maßgebliche Aufgabenstellung des ZeHS besteht in der Ablösung fossiler Energieträger für die Bereitstellung von elektrischer Energie und Prozesswärme. Damit ist die Forderung nach neuen technologischen Strategien und Materialien verbunden, um ressourcen- und energieeffizientere Prozesse zu entwickeln. Sowohl die Nutzung erneuerbarer Energiequellen als auch die Kreislaufführung von Konsumgütern, Chemieprodukten, Bau- und Keramikmaterialien und seltener Elemente sind wesentliche Forschungsgebiete.

Ziel ist es mit Hilfe der neu entwickelten Technologien eine weitgehende Elektrifizierung und Dekarbonisierung der Hochtemperaturprozesse zu erreichen. Dabei stehen die Anforderungen an Hochtemperaturprozesse und -materialien im unmittelbaren Zusammenhang. Die Entwicklungs- und Prozessketten erstrecken sich von den Grundlagen bis zu den Anwendungen in industrieskalierten Pilotanlagen.

Organisation

Moderiert und organisiert wird das Forum durch Dr. Ronny Schimpke, wissenschaftlicher Mitarbeiter am IEC bei Prof. Dr.-Ing. Martin Gräbner. Doktorandinnen und Doktoranden aller Institute und Professuren der TUBAF sind gerne eingeladen an den Veranstaltungen teilzunehmen und auch ihre Ergebnisse oder Fragen vorzustellen.



Abbildung: Führung am Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen

VOM SALZ DES LEBENS

Die Ausstellung „Vom Salz des Lebens“ ist seit März 2021 im ZeHS beheimatet. Sie nimmt drei kleinere Räume im Erdgeschoss ein und zeigt etwa 30 % der vorhandenen Schautafeln. Für Veranstaltungen werden zusätzlich das Foyer sowie der Vortragssaal genutzt.

Die Ausstellung „Vom Salz des Lebens“ hat einen Titel, der zum Nachdenken anregt. Was ist denn nun das Salz des Lebens? Zuerst denken die meisten an Speisesalz. Wofür brauchen wir das im Leben? Natürlich kennt das jeder aus der Suppe oder vom Frühstücksei. Und dann? Ja woher kommt denn eigentlich das Salz? Genau da setzt die Ausstellung „Vom Salz des Lebens“ an und thematisiert das Wissen und Unwissen über Rohstoffe im alltäglichen Leben.

Die Wissensvermittlung zum Thema Rohstoffe und Rohstoffbewusstsein kann sehr trocken im Frontalunterricht mit diversen Vorträgen erfolgen. Für eine nachhaltigere Wissensvermittlung wurde hier die interaktive Ausstellung konzipiert, um das reine Fachwissen mit haptischen Erfahrungen zu kombinieren. Dazu werden Veranstaltungen rund um das Thema Rohstoffe vom Institut für Bergbau und Spezialtiefbau, dort insbesondere vom Lehrstuhl Bergbau-Tagebau angeboten. Ziel ist es, dass am Ende einer jeden Veranstaltung alle Teilnehmer wissen, dass es verschiedenste Rohstoffe gibt, dass diese erkundet und gewonnen werden müssen und zu guter Letzt, dass Rohstoffe das Salz unseres Lebens sind, ohne die wir unseren Lebensstandard nicht sichern können.

Die Ausstellung ist sehr breit gefächert und für verschiedene Zielgruppen geeignet. Im Jahr 2024 wurden über 600 Besucher in regulären Veranstaltungen durch die Räumlichkeiten geführt. Zusätzlich war sie Bestandteil der Veranstaltung zur „Langen Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft“. Das Hauptaugenmerk der Ausstellung liegt auf Jugendlichen während der schulischen Ausbildung, aber es gibt keine Beschränkungen. Von Kindergartenkindern bis hin zu Rentnern kann und wird das Wissen



Abbildung: Schüler der 5. Klasse der Pabst-von-Ohain-Oberschule in Freiberg beim Zuordnungs-Puzzle. Alle Rohstoffproben müssen den entsprechenden Karten zugeordnet werden.

über die Rohstoffe unserer Welt näher gebracht und den Besuchergruppen die meist unbekanntesten Zusammenhänge zwischen alltäglichem Leben und Rohstoffproduktion und -verbrauch anschaulich verdeutlicht. Dieses komplexe Wissen wird über verschiedene Stränge vermittelt. Ausgehend davon, wofür die verschiedenen Rohstoffe verwendet werden, stellt sich die Frage, woher diese überhaupt kommen und wie man diese für das alltägliche Leben nutzbar machen kann.

Die angebotenen und durchgeführten Veranstaltungen bestehen zumeist aus drei Teilen: Einem geführten und angeleiteten Rundgang durch die Ausstellung, einem interaktiven Part zur Ermittlung des eigenen ökologischen Fußabdrucks und einem Rate-Puzzle zur Zuordnung von Rohstoffproben zu ihren Erläuterungstafeln. Dieses breit gefächerte Angebot wird sehr gut aufgenommen und führt stetig dazu, dass einige Schulen bereits ein Jahr im Voraus die nächsten Veranstaltungen planen. Dies verdeutlicht, wie stark die Ausstellung ist und wie gut sie angenommen wird.

Kontakt: salzdeslebens@tu-freiberg.de

ZEHS-KOLLOQUIUM

Hintergrund und Fokus

Wie lässt sich eine weitgehende Elektrifizierung und Dekarbonisierung von Hochtemperaturprozessen in der Industrie erreichen? Mit dieser sehr aktuellen und zugleich für die Grundstoff- und Produktionsgüterindustrie wichtigen Forschungsfrage beschäftigt sich das Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) der TU Bergakademie Freiberg, das in Deutschland zu den modernsten Forschungseinrichtungen auf diesem Gebiet zählt. Die zur Erreichung der klimapolitischen Ziele notwendigen Technologieentwicklungen erfordern jedoch hohe Investitionen, lange Entwicklungszeiten sowie eine enge Kooperation entlang verschiedener Wertschöpfungsstufen von der Rohstoffgewinnung bis hin zur industriellen Produktion. Vor diesem Hintergrund wurden die an der TU Bergakademie Freiberg vorhandenen, vielfältigen Fachkompetenzen in den Bereichen Hochtemperaturprozesse und -materialien in einem Forschungsbau gebündelt. Dabei umfasst das Kompetenzspektrum des ZeHS die Naturwissenschaften, insbesondere die Physik und Chemie, die Ingenieurwissenschaften, hier vor allem in den Bereichen Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik, sowie die Werkstoffwissenschaften und -technologie, sowie der angewandten Mathematik und den Wirtschaftswissenschaften. Mittels interdisziplinärer Forschungsvorhaben sollen die komplexen Innovationsprozesse, ausgehend von der Grundlagenforschung über Laborversuche, Technikums- und Pilotanlagen bis hin zur Großversuchstechnik, effizienter gestaltet und beschleunigt werden.

Das erste ZeHS-Kolloquium

Rund ein Jahr nach der Übergabe des Forschungsbaus hat Ende Juni 2022 das erste ZeHS-Kolloquium stattgefunden, welches mit über 70 Teilnehmern aus den Fakultäten 1, 2, 3, 4, 5 und 6 eine große Resonanz unter den Forschenden der TU Bergakademie Freiberg gefunden hat. Das wissenschaftliche Symposium diente als Plattform

zum Gedankenaustausch der ZeHS-Mitglieder sowie aller Kolleginnen und Kollegen der TU Bergakademie Freiberg, die in ihren wissenschaftlichen Ausrichtungen zu aktuellen Themen rund um die Hochtemperatur-Stoffumwandlung beitragen. Das Kolloquium fand seine Fortsetzung in den Jahren 2023 und 2024. Im Folgenden soll ausführlich über die erste Auftaktveranstaltung berichtet werden, was den breiten Themenreigen sichtbar macht.

Ziel des eintägigen, wissenschaftlichen Kolloquiums war es, institutsübergreifende Forschungsprojekte zu initiieren und Projektskizzen vorzubereiten, die die Grundlage für Verbundvorhaben liefern. Zu diesem Zweck wurde ein Mix aus Impulsvorträgen im ZeHS-Vortragsraum sowie kleineren Workshops in den Beratungsräumen angeboten. Entsprechend der ZeHS-Organisationsstruktur haben die jeweiligen Leiter der Kompetenzzentren die Schirmherrschaft über die Workshops übernommen, während die Moderation durch Dr. B. Abendroth, Leiterin der Koordinationsstelle „Materialien und Eigenschaften“, und Prof. M. Höck, Leiter der Koordinationsstelle „Technologiemanagement und Systemanalyse“, erfolgte. Als Diskussionsleitfaden für die Workshops diente ein so genannter „Research Model Canvas“, d. h. ein Poster, auf dem u. a. die Forschungsziele, notwendige Schlüsselkompetenzen, -partner und -ressourcen, aber auch potentielle Drittmittelgeber und vorbereitende Maßnahmen für mögliche Verbundvorhaben festgehalten sind.

Impulsvorträge

Nach der Begrüßung durch den wissenschaftlichen Sprecher des ZeHS, Prof. D. Meyer, hat Prof. C. Aneziris, Leiter des Kompetenzzentrums „Hochtemperaturmaterialien – Vom Material zum Bauteil“, mit seinem Impulsvortrag zum Thema „Funktionalisierte Werkstoffverbünde für Hochtemperaturanwendungen“ den ZeHS-Gedankenaustausch angestoßen. Hauptanwendungszweck der feuerfesten Verbundwerkstoffe sind Ofenauskleidungen der Eisen- und Stahl-, Glas-, Aluminium-, Zement- und



Abbildung 1: Begrüßung durch Prof. M. Höck



Abbildung 2: Teilnehmer im Vortragsraum

keramischen Industrie sowie formgebende Werkzeuge in den genannten Wirtschaftszweigen. Der Vortrag vermittelte einerseits einen Überblick über die gegenwärtigen Forschungsvorhaben an der Professur für Keramik, Feuerfest und metallokeramische Verbundwerkstoffe und umfasste andererseits mögliche Ziele und Anwendungen der Hochtemperatur-Werkstoffentwicklung, die im nachfolgenden Workshop vertieft wurde. Im Anschluss stellte Dr. B. Abendroth die bestehende Analytik- und Großgeräte-Infrastruktur des ZeHS vor, die die Basis für sämtliche Forschungsvorhaben am ZeHS ist. Die Großgeräteinfrastruktur umfasst die explizit mit dem Forschungsneubau bewilligten Forschungsgrößgeräte sowie Großgeräte, die über verschiedene weitere Projektträger finanziert sind. Das Portfolio der am ZeHS verfügbaren Analytikinfrastruktur und -methoden deckt die Bereiche Struktur und Eigenschaften fester Stoffe, Oberflächen, mechanische Eigenschaften von Bauteilen sowie die Reaktions- und Prozessanalyse ab. Ergänzend wurden von Arbeitsgruppenleitern und Nachwuchsforschern moderne Analysemethoden vorgestellt. So ging Jun.-Prof. C. Kupsch als Leiter der Professur für Mess-, Sensor- und Eingebettete Systeme kurz auf die bildgebende und zerstörungsfreie Untersuchung von Materialien mittels akustischer Mikroskopie ein, während Prof. B. Kiefer vom Institut für Mechanik und Fluidodynamik die Thermo-Chemo-Mechanik als disziplinübergreifende Methodik zur Quantifizierung der Prozess-Struktur-Eigenschafts-Beziehungen von Hochtemperaturwerkstoffen darstellte. In diesem Kontext wurde auch das aktuelle H₂Giga-Projekt „HTEL-Module – Ready for Gigawatt“ angesprochen,

das sich mit der Entwicklung einer neuen Generation von Hochtemperaturelektrolyse-Modulen zur Herstellung von grünem Wasserstoff befasst. Des Weiteren behandelte Dr. Matthias Zschornak als Leiter der Arbeitsgruppe Resonante Röntgenmethoden und Kristallmodellierung am Institut für Experimentelle Physik das Thema Wärmedämmschichten mittels flexibler strombasierter Abscheide- und Modifizierungsprozesse: *Heat Shield*. Zum Abschluss der ersten Vortragsreihe hat Prof. E. Kroke, zu dieser Zeit stellvertretender Direktor des ZeHS, seine Forschung zur thermochemischen Schichtabscheidung vorgestellt. Allgemein versteht man unter der chemischen Gasphasenabscheidung eine Gruppe von Beschichtungsverfahren, welche u. a. bei der Herstellung von mikroelektronischen Bauelementen, aber auch zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit von Werkzeugen eingesetzt werden.

Workshops

Die verschiedenen Impulsvorträge lieferten den Rahmen für zwei Workshops, die parallel stattfanden. In dem Workshop zu „Funktionalisierten Werkstoffverbänden für Hochtemperaturanwendungen“ wurden unter der Leitung von Prof. C. Aneziris die Optionen eines zukünftigen Sonderforschungsbereiches besprochen. Im Mittelpunkt der angeregten Diskussion der ca. 15 Teilnehmer standen das langfristig konzipierte Forschungsprogramm sowie eine kohärente Vernetzung potentieller Teilprojekte an der TU Bergakademie Freiberg. Darüber hinaus wurden



Abbildung 3: Eröffnung des ersten ZeHS-Kolloquiums durch Prof. D. C. Meyer und Prof. M. Höck

mögliche Demonstratoren funktionalisierter Werkstoffverbunde aus den Bereichen der Stahl- und Gastechologie erörtert. Für diese Prototypen sollten erste Ideenskizzen entwickelt werden.

Unter der Leitung von Prof. E. Kroke fand der Workshop „Multifunktionsschichten“ mit ca. 20 Teilnehmern statt. Im Rahmen des Workshops vertiefte Dr. M. Zschornak zum Thema *Heat Shield*, der Funktionalisierung von Oberflächen mit dem Ziel Wärmeübergänge zwischen Prozess und Bauteil zu reduzieren. Das vorgestellte Konzept betrachtet die Wärmeleitung in Bauteilbeschichtungen auf atomistischer und mikrostruktureller Ebene von Grenzflächen und 2-dimensionalen Strukturdefekten und zielt auf Materialentwicklung und Identifikation neuer Einsatzgebiete von Wärmedämmschichten. Zum aktuellen Stand laufen bereits Vorarbeiten zur Synthese und zur Anpassung analytischer Methoden zur Messung der Wärmeleitfähigkeit von dünnen Schichten. Mögliche Kooperationen auf diesem Themenkomplex hinsichtlich Analytik und Modellierung wurden im Rahmen des Workshops besprochen. Prof. S. Kureti vom Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Professur für Reaktionstechnik, stellte im Weiteren einen Ansatz zur Entwicklung von metallfreien Katalysatoren für die Ammoniaksynthese vor. Zunächst notwendige Vorarbeiten zum Screening geeigneter Verbindungen wurden besprochen. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Physikalische Chemie werden aktuell erste Vorarbeiten in



Abbildung 4: Vorstellung der bestehenden Analytik- und Großgeräte-Infrastruktur des ZeHS durch Dr. B. Abendroth

einer gemeinsam betreuten Masterarbeit unternommen. Zum Abschluss des Workshops wurde die Suche nach Blei-freien Piezokeramiken zur Diskussion gestellt. Die Fragestellung zielt auf einen Ersatz von Blei-Zirkon-Titanat (PZT) mit ähnlich guten piezoelektrischen Eigenschaften.

Nachmittagsprogramm

Am Nachmittag wurde das ZeHS-Kolloquium durch eine zweite Reihe von Impulsvorträgen fortgesetzt. Den Einstieg übernahm Prof. H. Biermann, stellvertretender Leiter des Kompetenzzentrums „Hochtemperaturmaterialien – Vom Material zum Bauteil“, mit einem kurzen Vortrag zur Hochtemperatur-Werkstofftechnik. Hier wurden die aktuellen Forschungsprojekte an der Professur für Werkstofftechnik vorgestellt, insbesondere wurden von Prof. H. Biermann potentielle Ziele und Anwendungen der Hochtemperatur-Werkstofftechnik benannt, die in einem späteren, gleichnamigen Workshop eingehender diskutiert werden sollten. Zudem vermittelte Dr. R. Schimpke vom Institut für Energieverfahrenstechnik gemeinsam mit Prof. M. Gräbner, dem stellvertretenden Leiter des Kompetenzzentrums „Hochtemperaturprozesse – Vom Mechanismus zur Anwendung“, einen ersten Einblick in die Elektrifizierung von Stoffumwandlungsprozessen durch Plasmaeinsatz. Generell beschreibt Plasma eine Materie auf hohem, instabilem Energieniveau. Bei Kontakt mit festen Materialien, z. B. Metallen,

trifft zugeführte Plasmaenergie auf die Oberflächen und verändert wichtige Materialeigenschaften wie z. B. die Oberflächenenergie. Einen weiteren Impulsvortrag hielt Dr. M. Abendroth, Leiter der Koordinationsstelle „Material-, Bauteil- und Prozesssimulation“, zum Einsatz der künstlichen Intelligenz in der Werkstoff- und Prozesssimulation. Den Abschluss der Vortragsreihe übernahm Dr. Kevin Keller vom Freiburger Hochdruckforschungszentrum (FHP), Leiter der Nachwuchsforschergruppe „Neue nanostrukturierte Nitrid-Volumenhartstoffe (N³V), mit einem Beitrag zur Hochdruck-Hochtemperatur-Synthese. Mittels dieser Verfahren lassen sich besonders harte und zähe Werkzeuge, sogenannte Hartstoffe, herstellen, die zur Bearbeitung von Metallen oder Keramiken benötigt werden.

Ebenso wie am Vormittag des Kolloquiums dienten die Impulsvorträge als Einleitung für zwei kleinere Workshops, in denen die Themen vertieft und zusammengeführt werden sollten. Im Workshop zur Hochtemperatur-Werkstofftechnik, unter der Leitung von Prof. H. Biermann wurden vor allem Themen zu höchstbeanspruchten Werkstoffkomponenten, die unter hohen Temperaturen weiteren Beanspruchungen ausgesetzt sind, diskutiert. Unter dem Gesichtspunkt unterschiedlicher Anwendungen wurden Lösungsansätze für eine Inertisierung und Standzeitverlängerung für Werkstoffe in Kontakt mit Plasmen, in korrosiven Umgebungen oder in Kontakt mit Wasserstoff thematisiert. Für die Aufskalierung der Wasserstoffelektrolyse stellte Dr. M. Abendroth Arbeiten des Instituts für Mechanik und Fluidodynamik im Rahmen des Projekts H₂Giga zur Wasserstoffelektrolyse vor. Insbesondere die Korrosion und mechanische Degradation von metallischen Bauteilen der Elektrolyseure aufgrund der aggressiven Betriebsbedingungen (hohe Temperaturen und hohe Wasserstoff-Konzentrationen) stellen eine Herausforderung für die Technologieentwicklung dar. Diskutiert wurden gemeinsame Ansätze zur Analytik und Vorhersage der Degradation von Bauteilen in der Wasserstoffelektrolyse. Dr. Wei Fu (Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen) regte Überlegungen zur Inertisierung von Elektrodenbauteilen

für die Erzeugung von atmosphärischen Plasmen an. Hier sind vor allem inerte Beschichtungen aus refraktären Materialien vielversprechend.

Demgegenüber war der Workshop zur „Elektrifizierung von Stoffumwandlungsprozessen durch Plasmaeinsatz“ unter der Leitung von Prof. M. Gräbner durch eine Reihe wissenschaftlicher Kurzvorträge gekennzeichnet. Zu Beginn stellte Dr. V. Kuznetsov die verschiedenen Arten von Plasma und deren Anwendung dar. Darauf aufbauend beschrieb Dr. R. Schimpke den Hochtemperaturprozess der Plasmavergasung von Abfällen, bei denen die Abfallkonversion bzw. der Schwelprodukte durch Kontakt mit mindestens 2000 °C heißem teilionisierten Gas realisiert wird. Somit können niedrige gaseitige Emissionen bei gleichzeitig höherer Qualität der Konversionsrückstände realisiert werden. Schließlich gingen Dr. Anton Serov und S. Rodmacher auf neuere Entwicklungen der Mikrowellen- und Plasmatechnologie ein. Mit Mikrowellen generierte Plasmen dienen in erster Linie zur Reinigung, Modifikation oder Beschichtung von Oberflächen. Schließlich wurde von Dr. A. Keßler vom Gießerei-Institut die Entwicklung einer CO₂-freien Schmelztechnik in NE-Metallgießereien mit Hilfe eines Plasmabrenners erläutert.

Ausblick

Insgesamt lässt sich festhalten, dass das erste ZeHS-Kolloquium eine sehr positive Resonanz unter den Forschenden der TU Bergakademie Freiberg gefunden hat. Mit Hilfe der Impulsvorträge konnte einerseits ein Überblick über die vielfältigen, aktuellen Forschungsprojekte auf dem Gebiet der Hochtemperatur-Stoffwandlung vermittelt und zudem ein intensiver Ideenaustausch unter den beteiligten Wissenschaftlern angeregt werden. Darüber hinaus eröffneten die kleinen Workshops die Möglichkeit einer vertiefenden Diskussion mit den Leitern der ZeHS-Kompetenzzentren und lieferten den Auftakt für erste gemeinsame Projektskizzen. Vor diesem Hintergrund soll das ZeHS-Kolloquium verstetigt und zukünftig jährlich durchgeführt werden.

ARCHITEKTUR

Ein Ort wissenschaftlicher Zusammenarbeit

Die Innovationskette der Forschungsprogrammatis 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 Schrofne 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

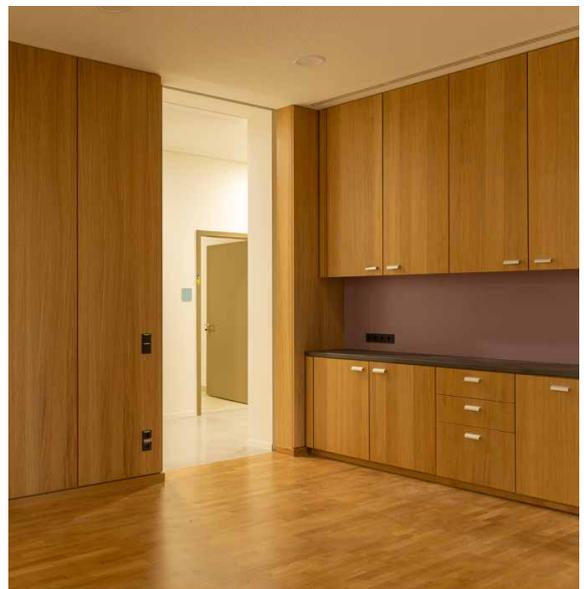


Abbildung 4: Teeküche und Begegnungsraum im ZeHS

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 goldverspiegelten 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 Umräum setzt sich als Spiegelbild in der Vielzahl der gebrochenen und leicht gekrümmten Flächen neu zusammen.

Zusammenwirken

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). 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

Direktorium

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

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

Stellvertretender Direktor: **Prof. Dr.-Ing. Martin Gräbner**

Weitere Vorstandsmitglieder

Dr. rer. nat. Barbara Abendroth

Prof. Dr.-Ing. Christos G. Aneziris

Prof. Dr.-Ing. Horst Biermann

Prof. Dr. rer. pol. Michael Höck

Prof. Dr. rer. nat. Yvonne Joseph

Prof. Dr.-Ing. Bernd Meyer

Prof. Dr. rer. nat. Serguei Molodtsov

Prof. Dr.-Ing. Urs Peuker

Prof. Dr.-Ing. Olena Volkova

Dr.-Ing. Martin Abendroth

Dr. rer. nat. Sandra Schwarzer

Ansprechpartner

Referentin: **Ass. iur. Theresa Lemser**

Hausdirektorin: **Dr. rer. nat. Barbara Abendroth**

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.

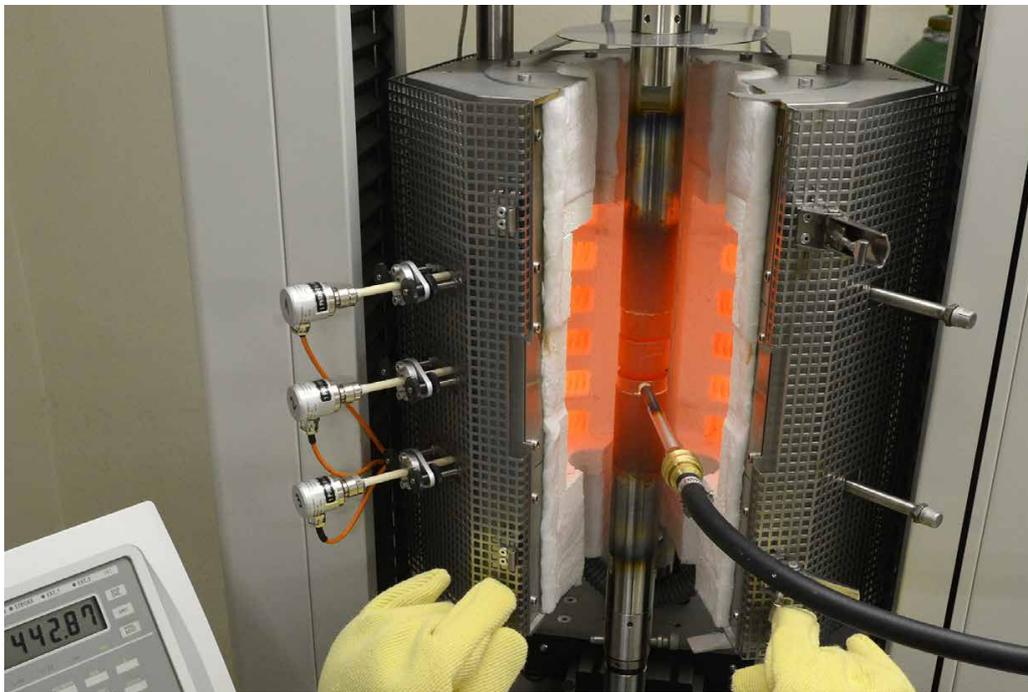
Eine weitere wichtige Aufgabe ist die Akquise neuer Drittmittelprojekte und der Ausbau und die Pflege von Kontakten in die Industrie und zu internationalen Forschungsgruppen, die sich mit verwandten wissenschaftlichen Fragestellungen beschäftigen. Ebenso wichtig ist die stärkere Vernetzung innerhalb 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 H₂Giga 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 zu 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.



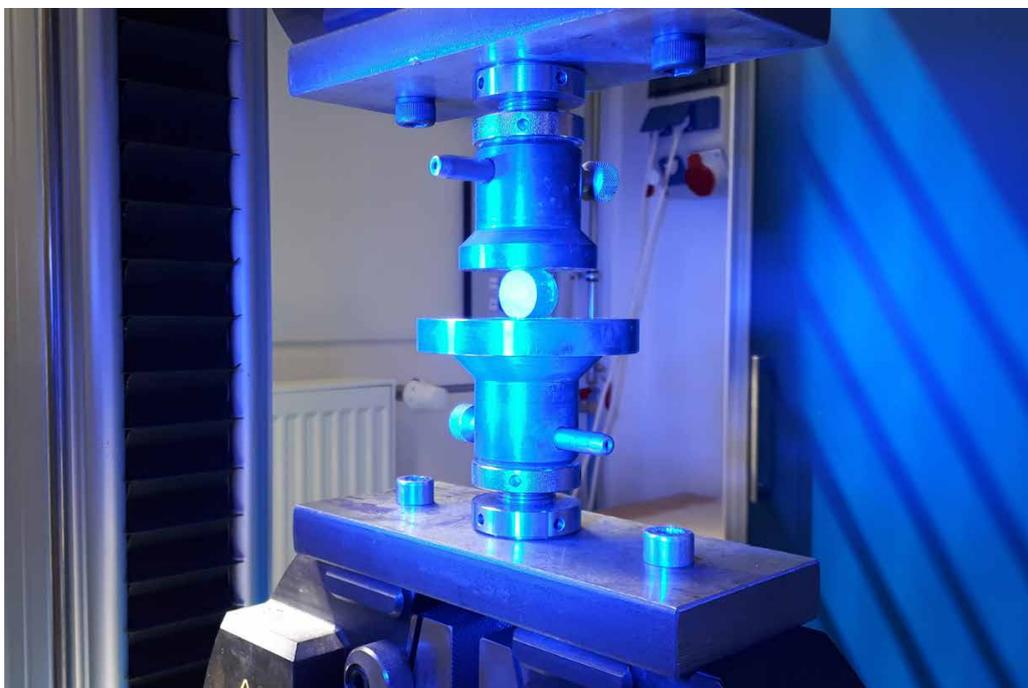
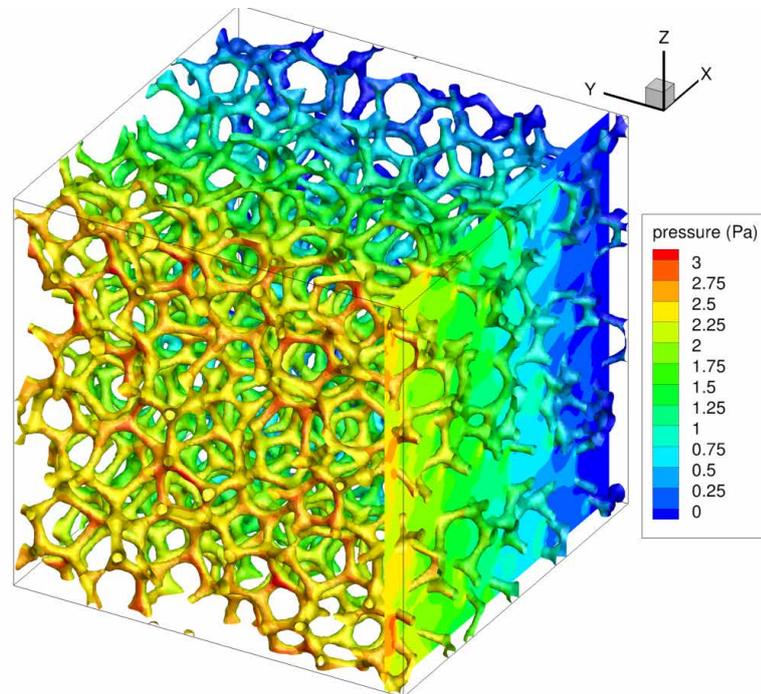
Hochtemperatur- Small-Punch-Test

Im H₂Giga-Labor werden neue austenitische Stähle für die Verwendung in Hochtemperaturelektrolyseuren mit dem *Small-Punch-Test* und mit Miniaturzugversuchen analysiert. Insbesondere die Zeitstandfestigkeit und die chemische Beständigkeit gegenüber Medien in der Elektrolyseurumgebung stehen dabei im Fokus.

LABORE NORD, RAUM I.308

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

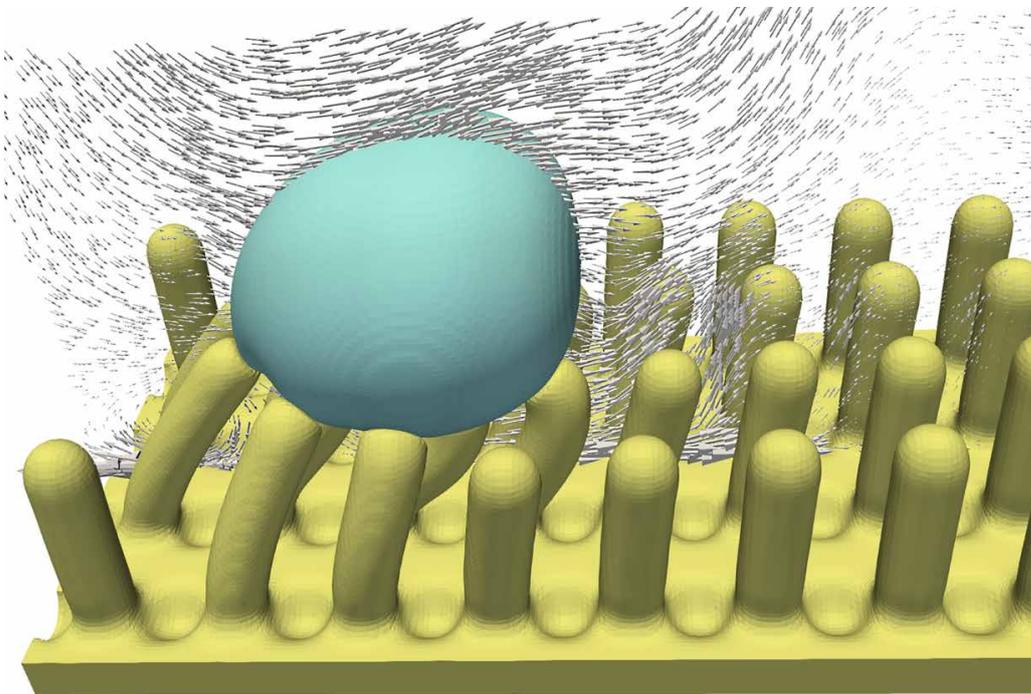
Forschungsschwerpunkte

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.

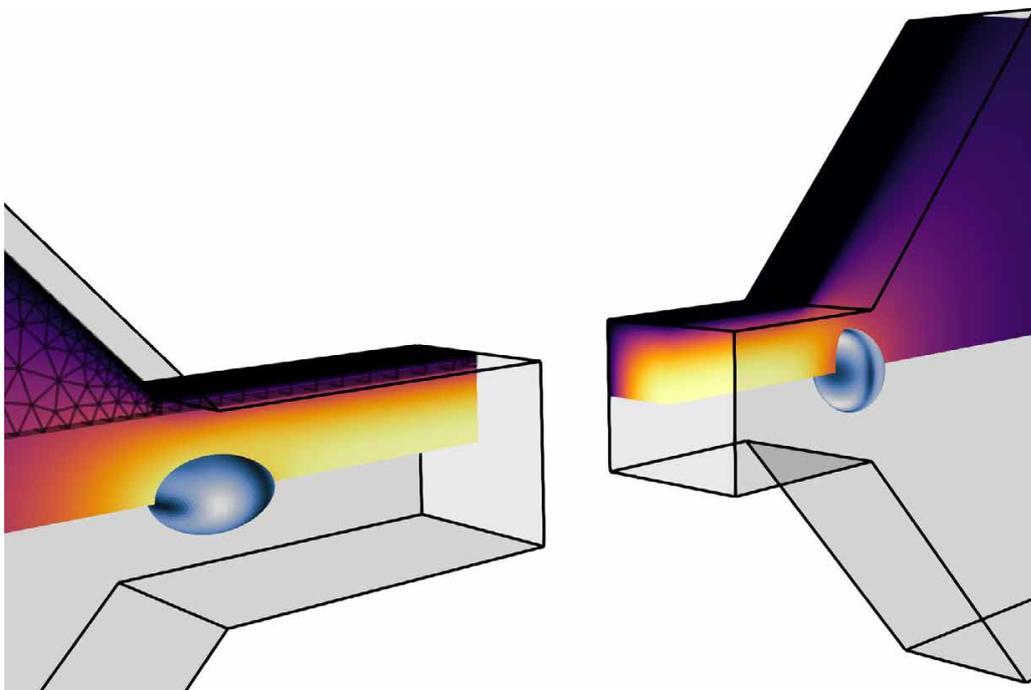
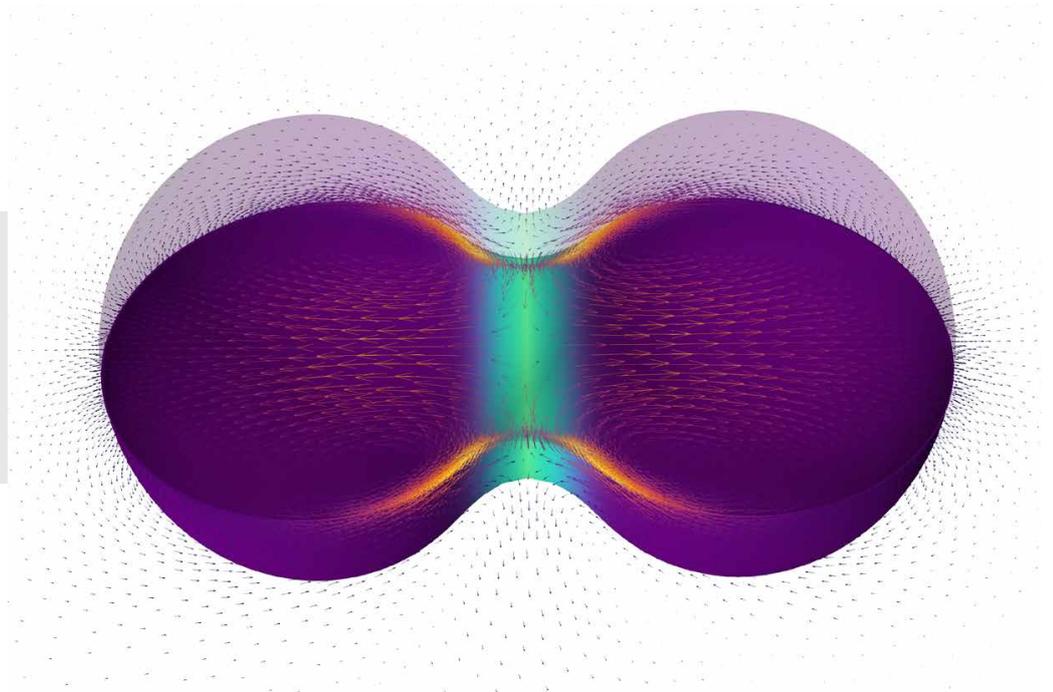


Benetzung

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 zweiten Förderperiode der Forschungsgruppe FOR 3010 liegt der Fokus auf der Entwicklung und Herstellung selbstheizender Feuerfestbauteile aus refraktären Verbundwerkstoffen basierend auf dem Kern-Schale-Konzept.

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

- H₂O- und N₂-Sorption
- Alternative Zementchemie
- Nutzung industrieller Reststoffe für nachhaltige, CO₂-effiziente Bindemittel
- Quantitative Röntgenbeugung
- Ternäre, mineralische sowie organo-mineralische Komposite

Baustofftechnologie

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

Bauteileigenschaften

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

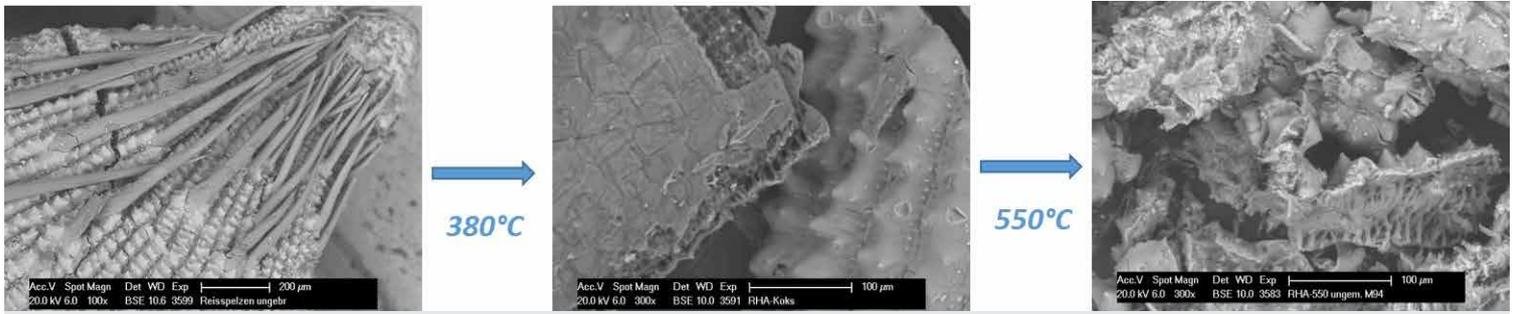
Aktuelle Projekte

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 SiO₂-reichen, feinteiligen und größtenteils amorphen Rohstoff zu erzeugen.

Im Herbst 2023 erreichte Prof. Dr.-Ing. Thomas A. Bier nach seiner akademischen Karriere den verdienten Ruhestand und wurde emeritiert. Die noch laufenden Forschungsprojekte, die sich mit innovativen Themen wie beispielsweise der biogenen Heilung zementärer Strukturen oder der Reststoffverwertung von Filterstäuben in Zementen befassen, wurden von Dipl.-Ing. Sandra Waida übernommen.



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 (Elektronenstrahlrückstreuung), *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 wurden 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 (DFG, ZIM-KOOP) die Randschichtbehandlung von unlegierten Stählen sowie von hochlegierten austenitischen Stählen.

Daneben unterstützt die Arbeitsgruppe Elektronenstrahltechnologien (Leitung Herr Dr. Hengst) den Betrieb der Universal-Elektronenstrahlanlage, die das IEC im Rahmen von Virtuhcon beschafft hat. Dort wird unter anderem die drahtbasierte additive Fertigung erforscht.



Warmwand-Plasmanitrieranlage

Nitrieren und Nitrocarburieren von
Stählen

HALLE B, BEREICH 9

Elektromechanische Prüf- maschine 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

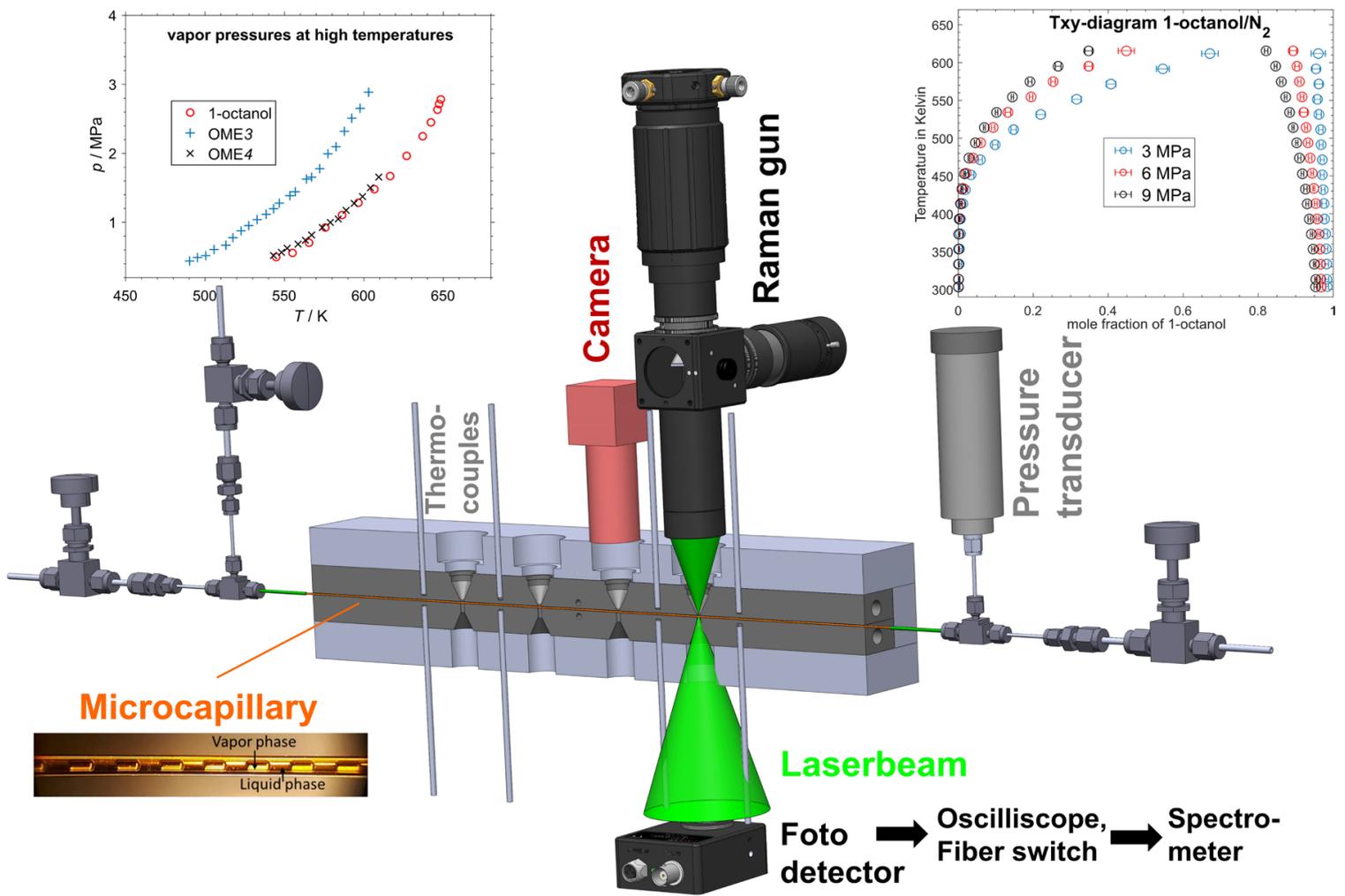
Mit Bezug zum ZeHS werden in der thermischen Verfahrenstechnik Eigenschaften von fluiden Reinstoffen oder Gemischen unter extremen Bedingungen (Temperatur und Druck) bestimmt, deren Kenntnis wichtige Voraussetzung für die Auslegung von Hochtemperatur-/Hochdruckprozessen ist. Die Eigenschaften vieler 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 flüidder 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





Prof. Dr. Tobias M. Fieback

Technische Thermodynamik

Forschungsschwerpunkte

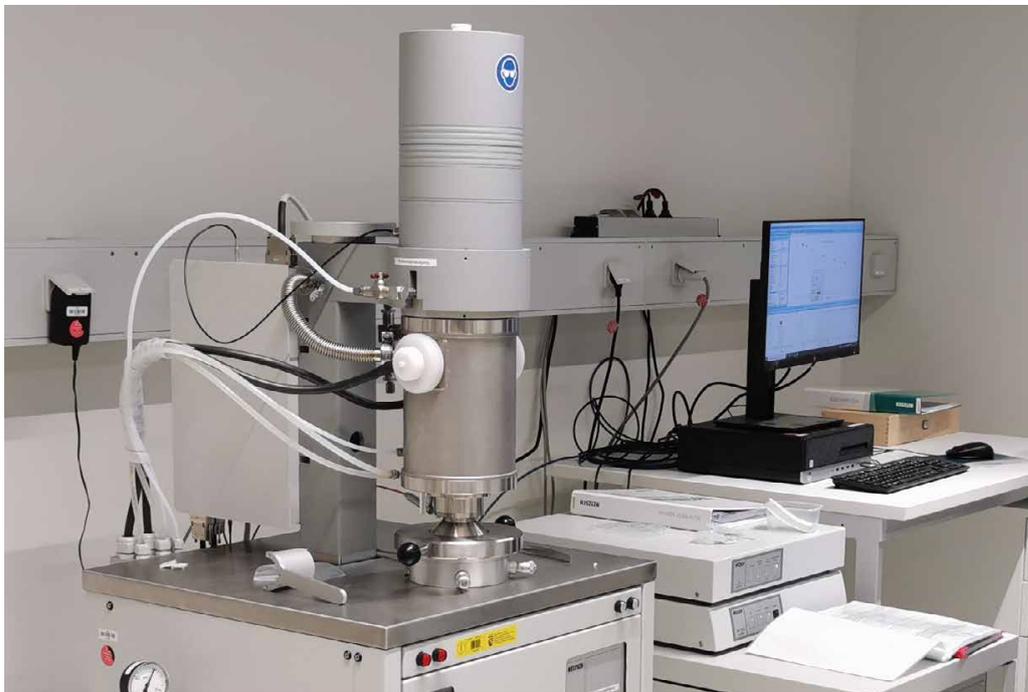
Seit vielen Jahren beschäftigt sich die Arbeitsgruppe „Thermophysikalische Stoffdaten“ mit der Bestimmung der relevanten thermophysikalischen Eigenschaften von Feststoffen im Hochtemperaturbereich. Im Bereich der Materialcharakterisierung und -weiterentwicklung nimmt dabei die Bestimmung der thermischen Leitfähigkeit eine zentrale Stellung ein. Die zugehörigen Themen sind überwiegend im Bereich der Grundlagenforschung angesiedelt. Weiterhin bestehen sehr enge Kooperationen mit anderen Instituten der TUBAF, dem Arbeitskreis „Thermophysik“ in der GEFTA e.V. sowie industriellen Partnern, um den Bedarf an zuverlässigen Stoffdaten speziell bei hohen Temperaturen abzudecken.

Die Arbeitsgruppe „Numerische Thermofluidynamik“ befasst sich mit der Analyse, Modellbildung, numerischen Simulation und Visualisierung von teilgekoppelten Wärmetransport- und Strömungsprozessen. Ziel ist das verbesserte Verständnis dieser komplexen physikalischen Phänomene, die Parameteridentifikation sowie die Optimierung von Prozessen und Anlagen. Die Bandbreite reicht von der Grundlagen- bis zur angewandten Industrieforschung, z. B. im Bereich Gießverfahren, bei Gasbrennern und Mantelstrahlrohren sowie beim Aluminothermischen Schweißen (AT). Zur Validierung der entwickelten Modelle dienen *In-situ*-Laborversuche bis zu hohen Temperaturen.

Aktuelle Projekte

Zu den aktuellen Forschungsprojekten gehört das DFG-Graduiertenkolleg 2802 „RECREAF“. Das Teilprojekt P3 beschäftigt sich mit der Wärmeleitfähigkeit von funktionalisierten Werkstoffen auf Rezyklat-Basis. Mit Hilfe der Laser-Flash-Anlage LFA 427 (nach Art. 91b GG bewilligtes Forschungsgrößgerät) wird der Einfluss von Zusammensetzung und Vorgeschichte der Materialien im Vergleich zu Neumaterialien untersucht. Zuarbeiten zu anderen Projekten an der TUBAF gab es u. a. für das IKFW (Keramiken), IEP (Beschichtungen) und das IMV (Weichstahllegierungen).

Im Forschungsprojekt „PROENOS“ (gefördert vom BMWK) geht es in Kooperation mit dem Stahlzentrum Freiberg e.V. und der Elektro-Thermit GmbH & Co. KG um das moderne, energieeffiziente, ressourcenschonende und umweltfreundliche AT-Schweißen von Schienen. Im Teilprojekt der technischen Thermodynamik soll ein integriertes Modell des Gesamtprozesses entwickelt werden, welches auf der Modellierung der relevanten Teilprozesse und deren Kopplung basiert, um kausale Zusammenhänge detailliert zu untersuchen. Durch Erstellung eines digitalen Zwillings soll der Prozess sicher und kostengünstig simuliert und optimiert werden. Dazu sind Formfüllexperimente zunächst mit Modellfluiden (Wasser-Öl) und nachfolgend mit Paraffinwachs und niedrigschmelzenden Metallen geplant.



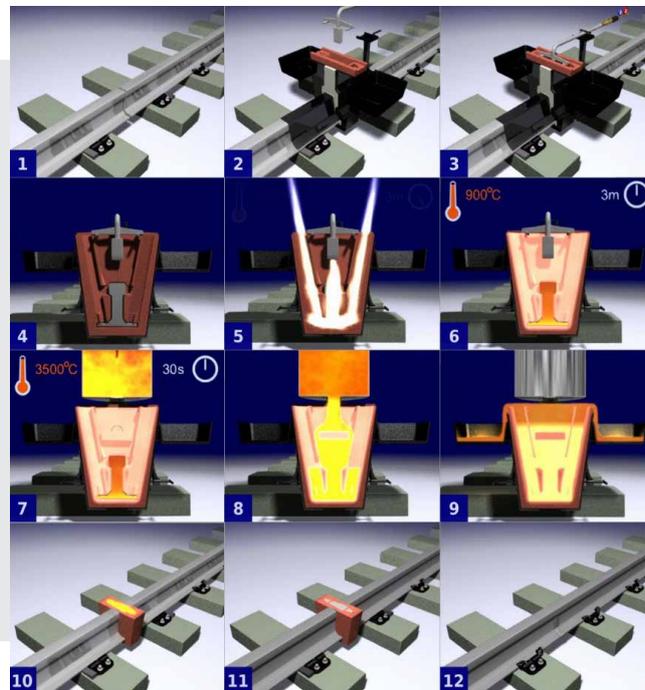
Laser-Flash-Anlage LFA 427

Bestimmung der
Temperaturleitfähigkeit

LABORE SÜD, RAUM EG.218

Technologie des Aluminothermischen Schweißens

- 1 – offener Schienenstoß
- 2 – Positionierung der Gießform
- 3 – Positionierung des Brenners
- 4 – Brenner-Schiene-Gießform (Querschnitt)
- 5 – Trocknung und Vorwärmung
- 6 – Umrüstung
- 7 – THERMIT®-Reaktion
- 8 – Formfüllung
- 9 – Aufschmelzung
- 10 – Erstarrung
- 11 – Abkühlung und Gefügebildung
- 12 – verschweißter/geschliffener Stoß



Beleuchtung 1

Aufnahmebereich

Euro Tiegel
(Plexiglas®)

Beleuchtung 2

Kamera 1

Kamera 2

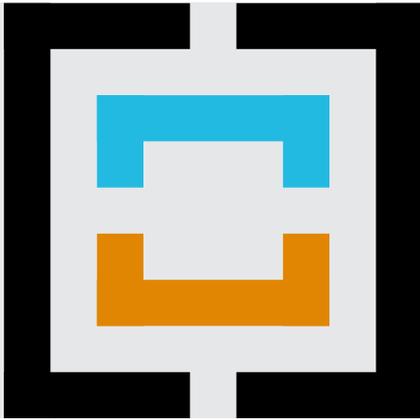
Beleuchtung 3

Kamera 3

Versuchsaufbau für Wasser-Öl

Formfülleexperimente

LABORE NORD, RAUM I.307



Freiberger 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 liegen die Schwerpunkte der Forschungsaktivitäten einerseits bei dynamischen Hochdruckmethoden, die im Schockwellenlabor des Forschungs- und Lehrbergwerk Reiche Zeche genutzt werden. Ein zweiter Anstaz besteht in der Nutzung von statischem Hochdruck mittels sogenannter großvolumiger Mehrstempel- oder Multianvil- sowie Toroid-Pressen. Diese wurden und werden für die Synthese von neuartigen Hochdruckphasen und superharten Materialien genutzt.

Am ZeHS befindet sich im Hallenbereich A7 eine 800-Tonnen-Uniaxial-Pressen. Diese verfügt über ein zweistufiges 6-8 Multianvil-Modul zur Erzeugung von Drücken 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. Die Ausgangsstoffe – i. d. R. Feststoffe ggf. in Kombination mit Fluiden – werden dabei in Kapseln aus unterschiedlichen keramischen Festkörpermaterialien oder auch in Folien aus Edel- oder Refraktärmetallen eingeschlossen und komprimiert. Die Probengröße beträgt zwischen 2 und ca. 200 mm³. Neben der Temperaturmessung mit Thermoelementen sind auch elektrische Widerstandsmessungen unter den genannten HP- und HPHT-Bedingungen

möglich. Dabei kann das FHP auf seine langjährige Erfahrung mit ähnlich aufgebauten Multianvil-Pressen zurückgreifen, die beispielsweise am Bayerischen Geoinstitut in Bayreuth und an den Synchrotron-Einrichtungen am DESY in Hamburg oder am ESRF in Grenoble für *In-situ*-Untersuchungen betrieben werden.

Die Presse am ZeHS wird gemeinsam mit dem Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung IFW Dresden betrieben. Im Rahmen einer vertraglichen Vereinbarung wird mit dem IFW ein *Joint Lab* betrieben, welches vertiefte Kooperationsmöglichkeiten bietet.

Weiterhin stehen am ZeHS einige für die Durchführung von Hochdruck-Hochtemperatur-Experimenten erforderliche Peripheriegeräte zur Verfügung. Dazu zählen mehrere Geräte zur Probenvorbereitung und zur Analyse der erhaltenen Produkte. Genutzt wird beispielsweise eine zum präzisen Zerteilen sehr harter Werkstoffe geeignete Diamantdrahtsäge, die sich im Laborflügel Nord im Erdgeschoss nahe des Hallenbereichs befindet.

Aktuelle Projekte

Die interdisziplinäre BMBF-Nachwuchsforscherguppe N3V „Neue nanostrukturierte Nitrid-Volumenhardtstoffe“ forscht an nanostrukturierten Volumenhardtstoffen für Maschinenbau- und Bergbauanwendungen. Dafür werden Komposite 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 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.



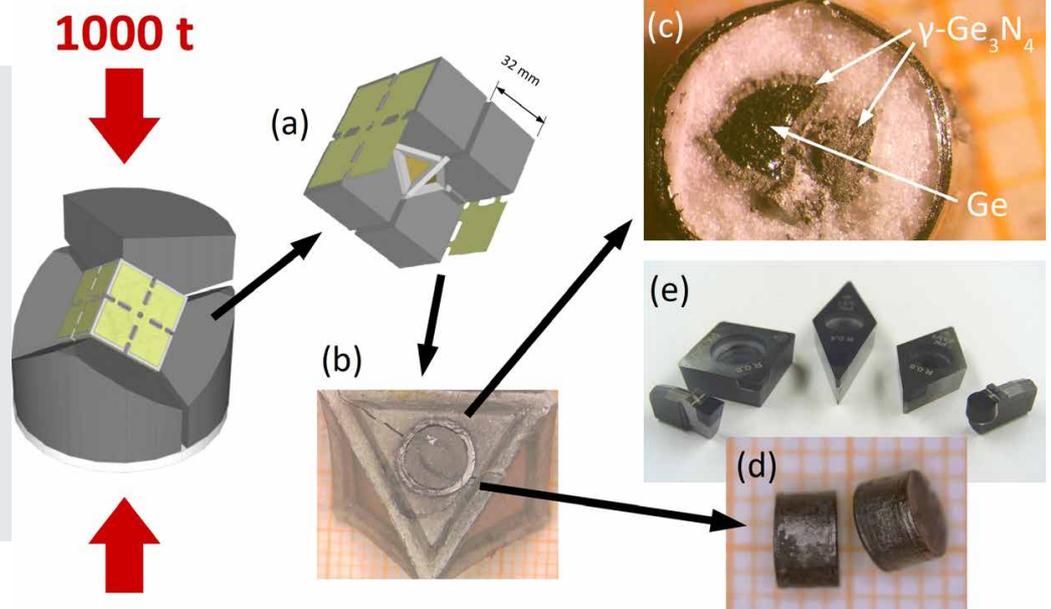
800-Tonnen-Hochdruckpresse

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-ZrO₂-Hochdruckzelle nach Experiment, (c) Blick in die Edelmetallkapsel mit durch Hochdruck-Nitridierung auf Ge aufgewachsener γ -Ge₃N₄-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 die Möglichkeiten am ZeHS für Arbeiten zu folgenden Themen:

- Recycling von Rotorblättern aus Windkraftanlagen (BMW, ZIM, 07/2021–06/2023)
- ECXXOR: Extreme Conditions X-ray Raman, X-ray Emission and Optical Raman Spectroscopy @ the Extremely Brilliant Source (BMBF, ErUm-Pro, 10/2022–09/2025)
- Accelerated discovery of artificial minerals from machine-supported slag admixture and liquid-state processing (DFG in SPP2315, 01/2022–12/2024)
- Verwertung von Haldenreststoffen in Glasprodukten (BMBF in WIR! Bündnis rECOMine, 04/2023–12/2025)
- QualiGlas – Prädiktive Bewertung der Glasqualität bei zukünftigen Technologien zur nachhaltigen, CO₂-emissionsneutralen Glasherstellung (ESF Plus Nachwuchsforschungsgruppe gemeinsam mit Prof. A. Richter, 01/2023–12/2025)

Es werden ein Ofen bis 1800 °C und Equipment zur Schmelzsynthese sowie ein Temperofen im ZeHS betrieben und genutzt. Des Weiteren wird ein Röntgendiffraktometer zur qualitativen und quantitativen Phasenanalyse teilamorpher Proben betrieben. Dichte, chemische, d. h. Auflösungsverhalten unter Autoklavenbedingungen und mechanische Eigenschaften von Glas werden in dem genannten Labor bestimmt. *In-situ*-Methodik zur Struktur-Eigenschaft-Korrelation in Gläsern und Glasschmelzen oder Phasenanalyse in Kooperation mit anderen TUBAF-Arbeitsgruppen werden am Mikro-Ramanspektrometer durchgeführt.

In 2023/2024 arbeiteten bis zu fünf Forschende mehrheitlich am ZeHS. Die Arbeitsgruppe strebt weiteres Wachstum und Vernetzung im ZeHS an.



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

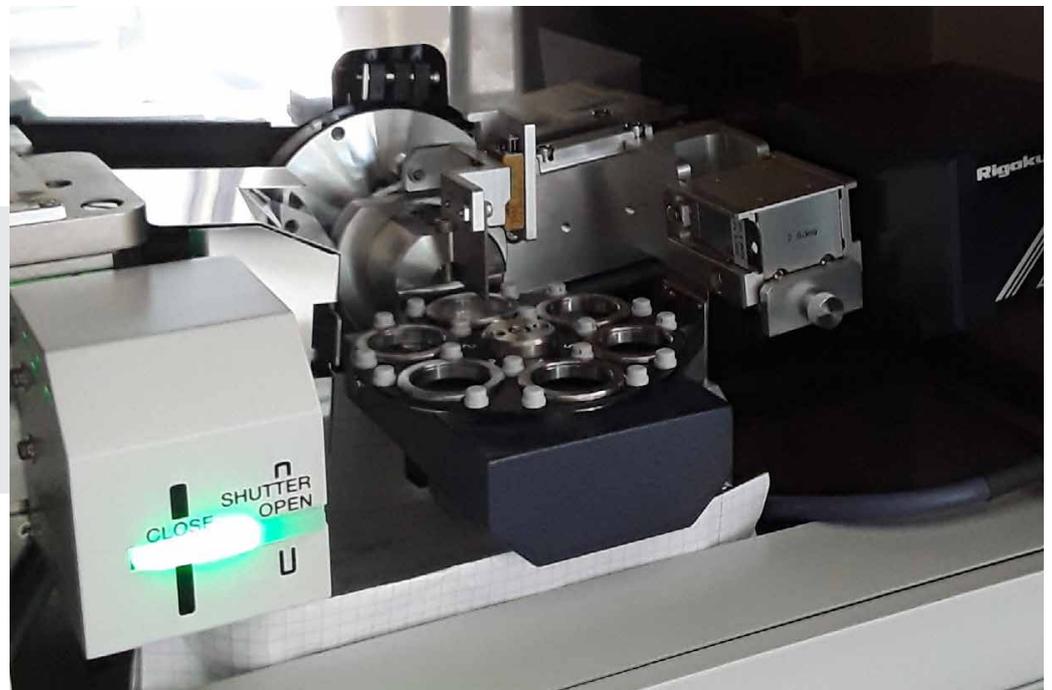
Synthese und Herstellung von
Gläsern, Glaskeramiken und
Kompositmaterialien

LABORE NORD, RAUM I.324

**Röntgendiffraktometer
RIGAKU MiniFlex**

Qualitative und quantitative Analyse
(teil-)amorpher Materialien

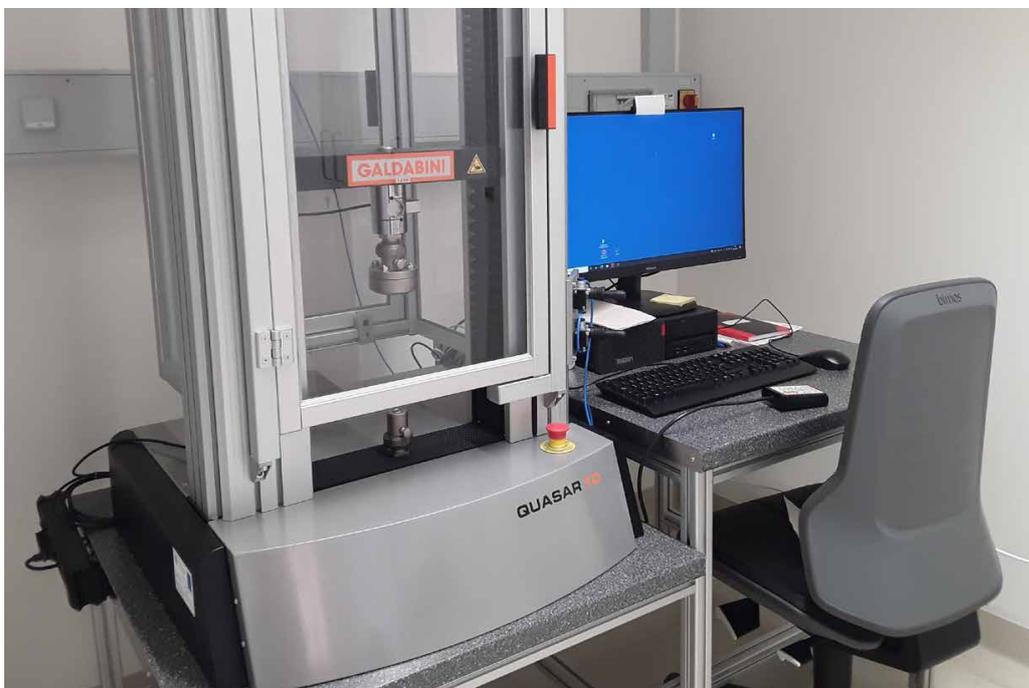
LABORE SÜD, RAUM I.202



**Universalprüfmaschine
GALDABINI Quasar 10**

Mechanische Zug- und Druckprüfung

LABORE SÜD, RAUM I.202





Prof. Dr.-Ing. Martin Gräbner

Energieverfahrenstechnik
Stellvertretender Direktor des ZeHS

Forschungsschwerpunkte

An der Professur für Energieverfahrenstechnik steht das e⁻CH₂T-Forschungskonzept „Elektrifizierung von Kohlenstoffkreislauf- und Wasserstoff-Technologien“ im Fokus. Dieses beinhaltet im Einzelnen:

e⁻: Elektrischer Strom wird durch Plasmaentladung, Konduktion, Induktion, Strahlung oder sogar Hilfsstoff-erzeugung (z.B. O₂, H₂) in chemische Reaktionen eingebunden.

C: Kohlenstoffkreisläufe werden durch chemisches Recycling, Nutzung biogener Abfallstoffe oder Erschließung von CO₂-Quellen geschlossen (z.B. für E-Fuels, E-Chemicals).

H₂: Wasserstoffbereitstellung geschieht auf Basis biogener Abfälle, pyrolytischer Kohlenwasserstoffspaltung oder durch Reforming/Partialoxidation mit CO₂-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

Im Bereich der Energieverfahrenstechnik werden aktuell, neben den bereits in Betrieb befindlichen Forschungsgeräten:

- Elektronenstrahl-Kammeranlage,
- Röntgenfluorezenzanalyse,
- Methan-Reforming-Teststand sowie
- Mikrowellenteststand zur plasmagestützten Vergasung

zwei Labor-Versuchsstände zur Abfallvergasung mit Plasma-Integration im ZeHS-Technikum eingebracht. Die Einkopplung elektrischer Energie mittels Plasma ermöglicht das chemische Recycling von Abfällen mit niedrigem Heizwert unter Gewinnung von hochwertigem Synthesegas. Handelt es sich zudem um erneuerbaren Strom, werden CO₂-Emissionen maßgeblich verringert.

In einem 1 kW Plasmabrenner-Teststand sollen Voruntersuchungen an festen Einsatzstoffen für die Versuchskampagnen des Mikrowellenteststands durchgeführt werden (siehe Seite 102).

In einem Plasma-Quarzglas-Reaktor reagieren gasförmige und flüssige Einsatzstoffe mittels Mikrowellenplasma zu Synthesegas (H₂ + CO). Dieser Versuchsstand ermöglicht die Erstellung von grundlegenden Masse- und Energiebilanzen für die Plasmavergasung von organischen Einsatzstoffen.



Mikrowellenteststand

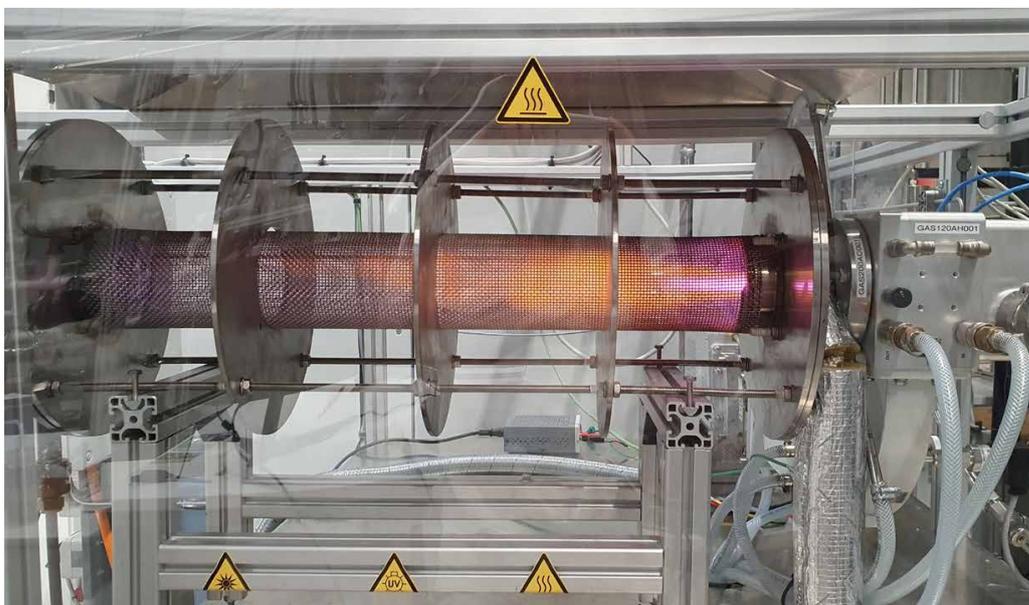
Plasmagestützte Vergasung für das chemische Recycling von schwierigen Abfallstoffen

HALLE B, BEREICH 11

Teststand Methan-Reforming

Wasserstoffherzeugung mittels thermischer Spaltung von CH_4 oder katalytischem Steamreforming

HALLE B, BEREICH 12



Plasma-Quarzglas-Reaktor

Versuchsstand zur Synthesegas-Gewinnung mittels Mikrowellenplasma für gasförmige und flüssige Einsatzstoffe

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.

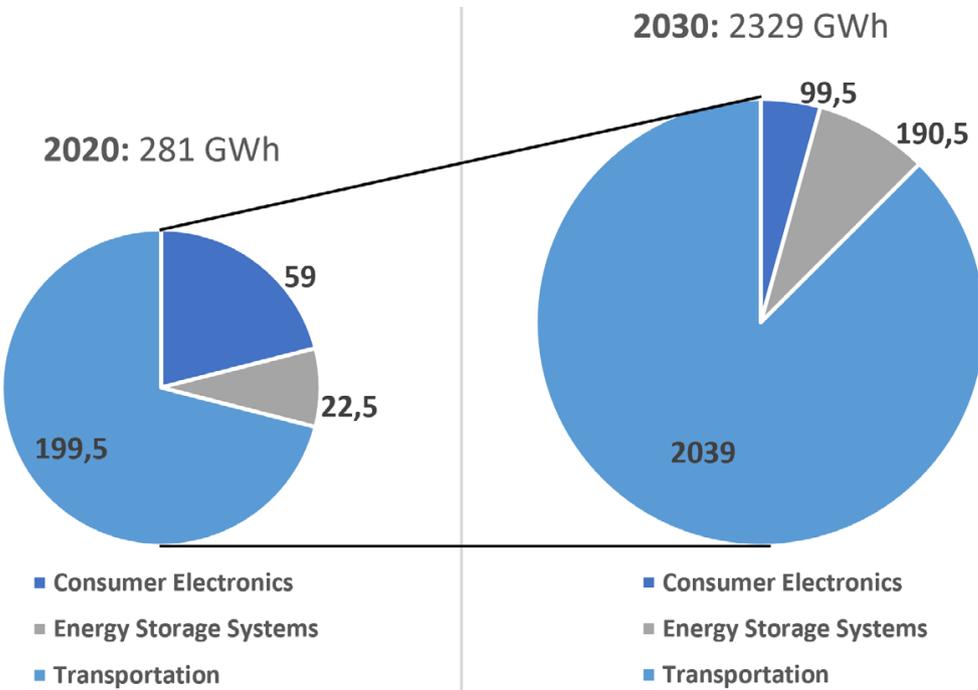
Die bearbeiteten Forschungsfelder reichen von der Strategieformulierung über die Früherkennung bis hin zur Technologieplanung und -entwicklung. Eine Technologiestrategie beschreibt in groben Zügen, wie ein Unternehmen Produkt- und Prozesstechnologien einsetzen will, um Wettbewerbsvorteile zu erzielen. 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 CO₂-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.

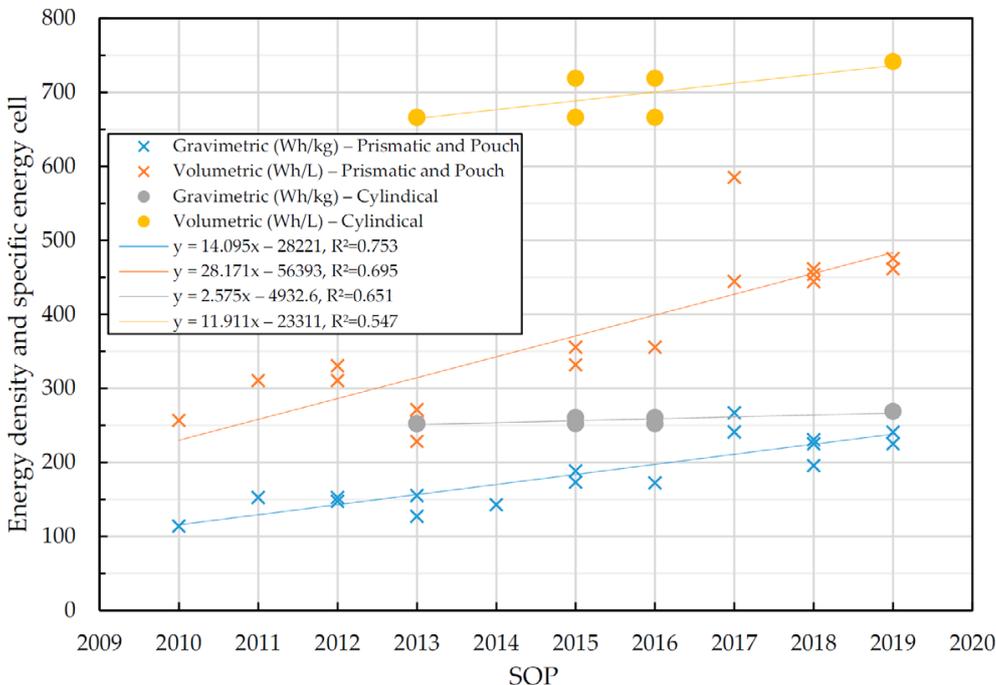
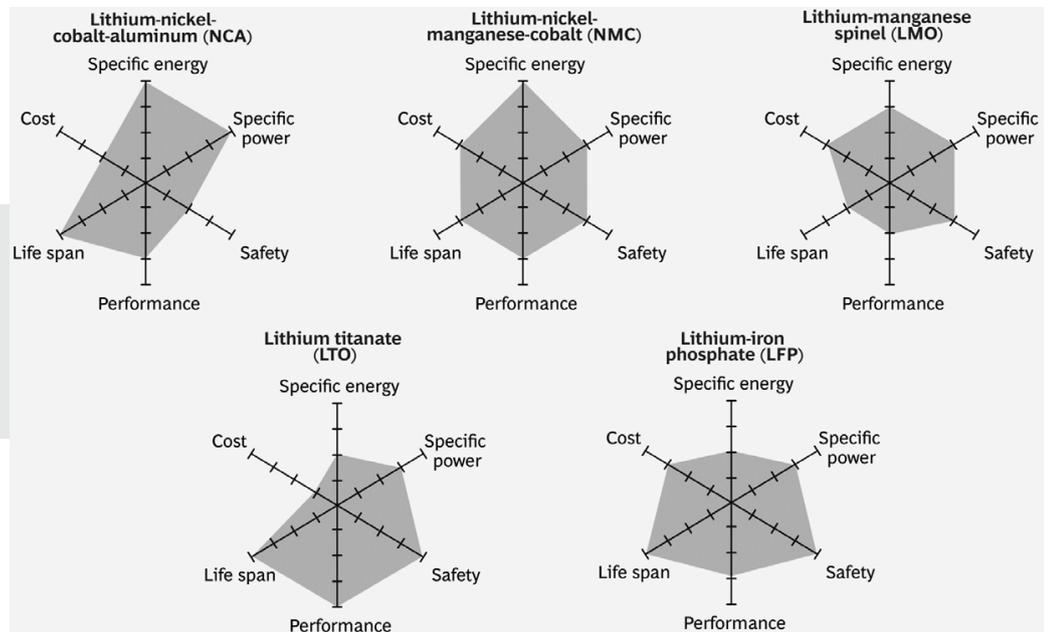


Globaler Batteriemarkt 2020–2030

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_2 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.

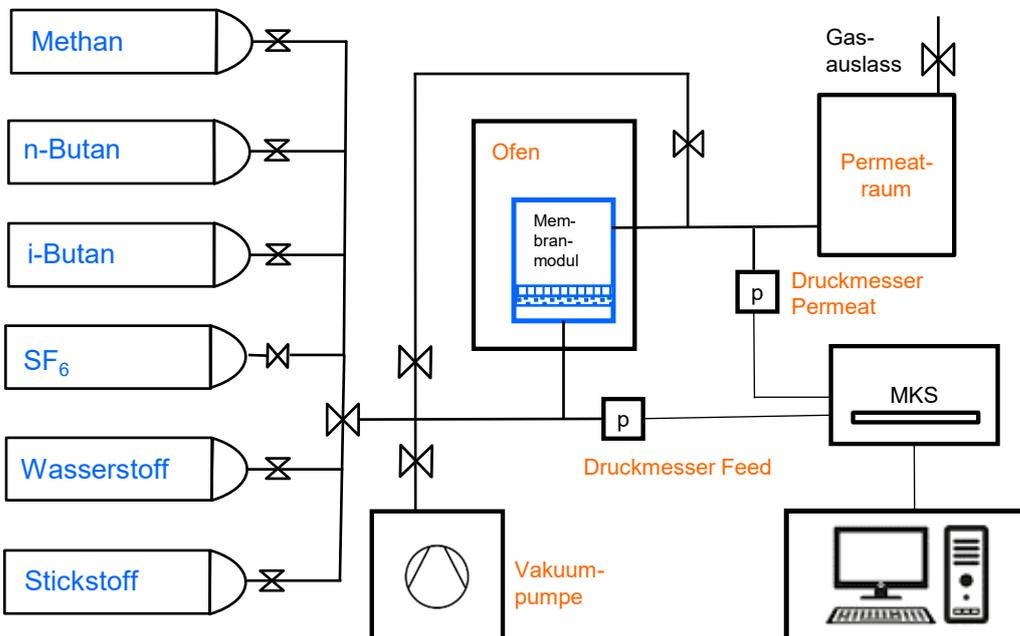


**Rohrförmiges Sensorelement
aus $0,7 \text{ CaF}_2 - 0,3 \text{ YF}_3$**

Festelektrolytensensoren für
Hochtemperaturprozesse

**Querschnitt einer biokompatiblen
Hydroxylapatit-Keramik**

Biokeramik als Knochenersatz



Schema Einzelgasmessplatz

Zeolithmembranen für
Hochtemperaturprozesse

LABORE NORD, RAUM I.324



Prof. Dr. Edwin Kroke

Sol-Gel-Beschichtungen
Geschäftsführender Direktor des ZeHS

Forschungsschwerpunkte

Als Sol-Gel-Coatings bezeichnet man anorganische oder anorganisch-organische hybrid-polymere Filmsysteme. Sie kommen beispielsweise zur Oberflächenveredelung zum Einsatz und werden kommerziell in verschiedenen Bereichen eingesetzt. So werden Solarkollektoren mittels poröser SiO_2 -Schichten entspiegelt, bei Brillengläsern dienen Hybridpolymer-Schichten als Kratzschuttschicht oder es können Interferenzfilter durch Kombination von niedrigbrechenden Sol-Gel-Schichten und hochbrechenden TiO_2 -Schichten hergestellt werden.

In den letzten Jahren wurde das Thema der Sol-Gel-Beschichtungen am ZeHS in der Arbeitsgruppe „Siliciumchemie und chemische Materialwissenschaft“ immer weiter ausgebaut. Sol-Gel-Beschichtungen können nach einem Baukastenprinzip aufgebaut werden. Vier Komponenten spielen dabei eine Rolle:

1. Netzwerkbilder,
2. Netzwerkmodifizierer,
3. Aktive Additive,
4. Passive Additive.

Die Netzwerkbilder erzeugen ein i. d. R. dreidimensionales Polymer auf Si-O-Basis. Die Netzwerkmodifizierer brechen das starre System des Si-O-Netzwerkes auf und können verschiedene Eigenschaften verändern. Durch Zugabe von Additiven lassen sich gewünschte Eigenschaften in die Coatings überführen.

Aktuelle Projekte

Sol-Gel-Beschichtungen sind in den unterschiedlichsten Anwendungsfeldern einsetzbar. In der Vergangenheit haben wir uns bereits mit der Beschichtung von Kupferfeinstdrähten für den Hochtemperatureinsatz, Anti-Korrosions-Beschichtungen für Stahlträger oder Schutzbeschichtungen im Außenbereich beschäftigt und konnten dafür das große Anwendungspotential von Sol-Gel-Beschichtungen nutzen.

Aktuell werden Forschungsarbeiten zu chemikalienbeständigen Beschichtungen für Carrara-Marmor, Biozidfreien Beschichtungen für Bootsrümpfe sowie den Boots-Antriebsstrang und Anti-Fingerprint-Beschichtungen für den Autoinnenbereich durchgeführt. Daneben werden Sol-Gel-Formulierungen entwickelt, die als Hochtemperaturschutz für Auspuffanlagen fungieren können.

Weiterhin laufen aktuelle Tests von Anti-Fouling-Beschichtungen für Wärmetauscherplatten in Grubenwasserwärmetauschern in Zusammenarbeit mit Dr. Thomas Grab vom Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik. Vielversprechende Ergebnisse wurden bei der Entwicklung einer fluorfreien Anti-Graffiti-Beschichtung erzielt.

Geplant sind zukünftig die Entwicklung von Anti-Soiling-Coatings für Solarmodule und auch Beschichtungen für unterschiedliche Textilsubstrate.



STA-FTIR (ATR, DRIFT) mit GC/MS-Kopplung

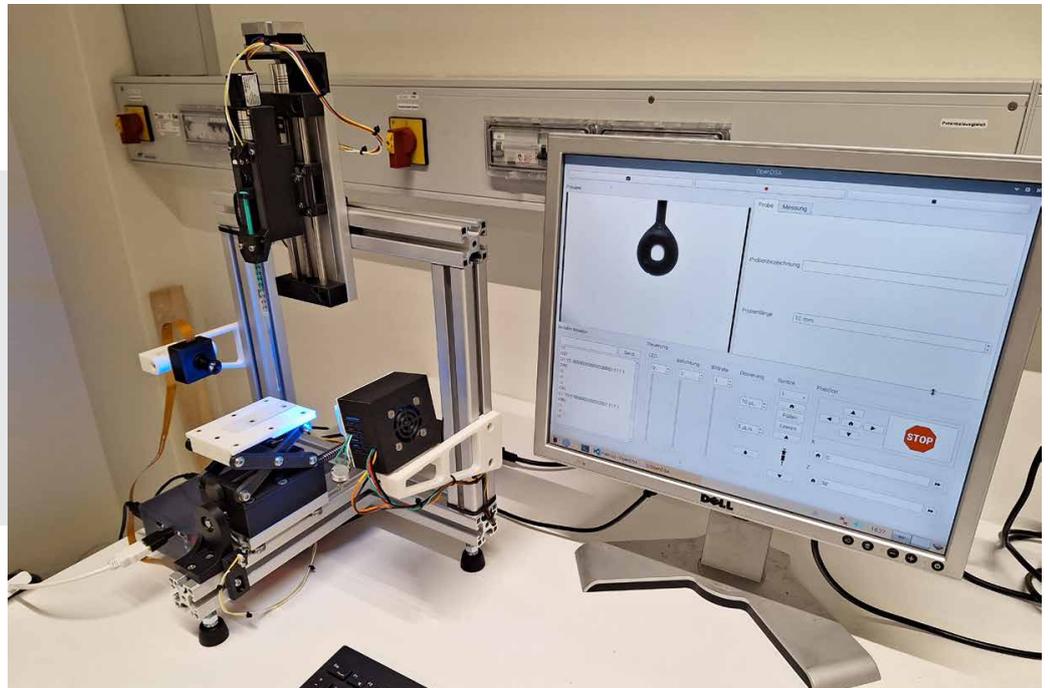
Hochleistungsanalytik zur Bestimmung von Zersetzungsprodukten und thermischem Verhalten

LABORE SÜD, RAUM EG.226

Eigenkonstruktion Open-DSA (Drop-Shape-Analysator)

Charakterisierung der Oberflächeneigenschaften in Bezug auf den Kontaktwinkel und die Oberflächenenergie

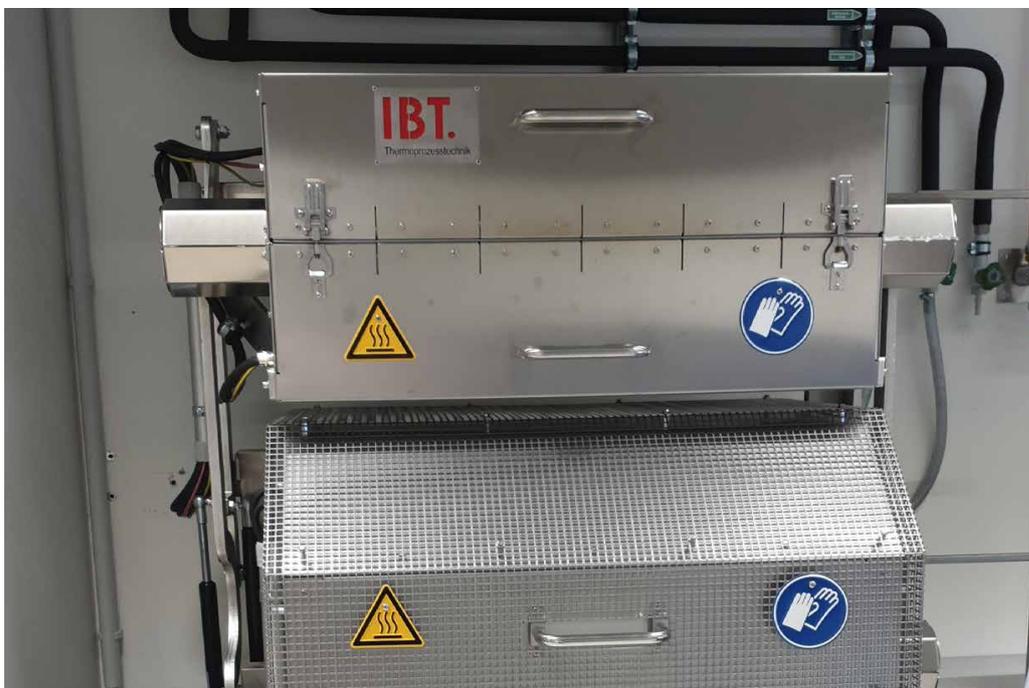
LABORE SÜD, RAUM I.227



Röhrenöfen bis 1200 °C und bis 1800 °C

Thermisches Auslagern von Beschichtungen unter verschiedenen Atmosphären

LABORE SÜD, RAUM EG.226





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 ≤ 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

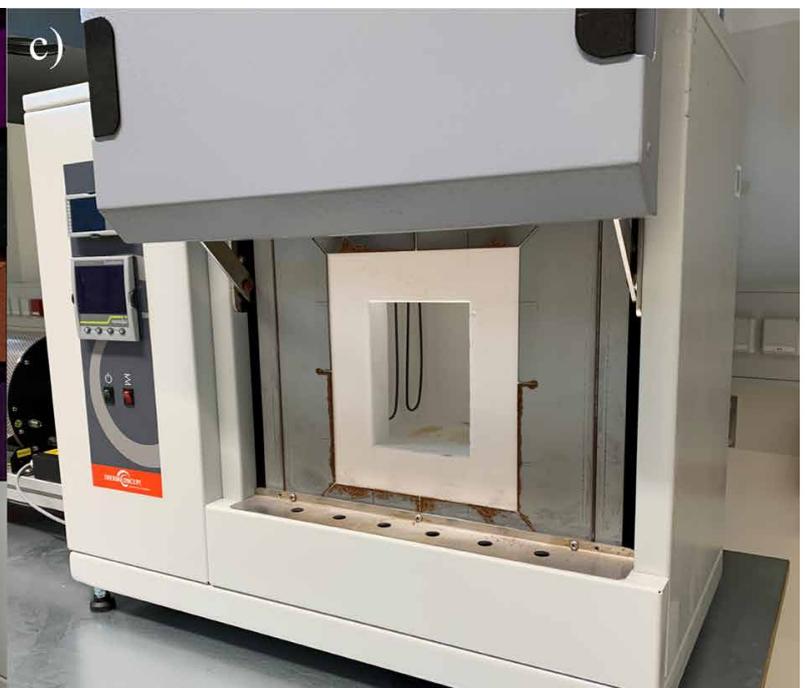
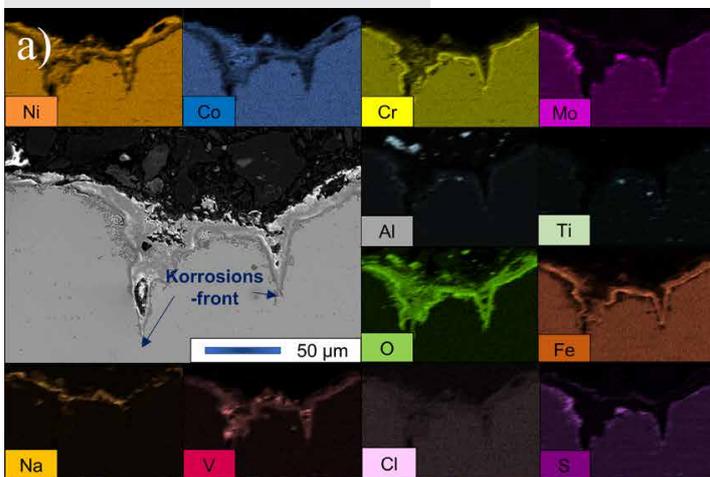
LABORE SÜD, RAUM EG.219



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

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

LABORE NORD, RAUM I.323





Jun.-Prof. Dr.-Ing. Christian Kupsch

**Mess-, Sensor- und Eingebettete Systeme
(MSE Lab)**

Forschungsschwerpunkte

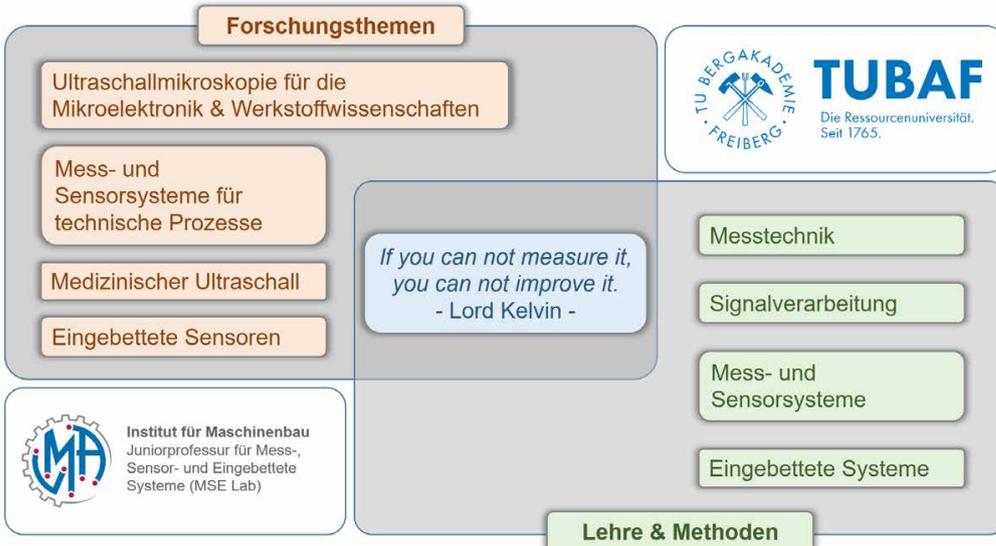
Mess- und Sensorsysteme spielen in der heutigen zunehmend digitalen Welt eine besondere Rolle, da sie das Bindeglied zwischen der realen, physischen Welt und dem digitalen Raum darstellen. Alles, was wir verstehen, optimieren oder regeln wollen, muss zuerst erfasst oder gemessen werden. Aus diesem Grund forschen und lehren wir am MSE Lab an innovativen Mess- und Sensorsystemen für komplexe technische Prozesse und Materialien. Es wird ein ganzheitlicher systemtechnischer Ansatz verfolgt, der Methoden in den Bereichen Sensorik, Elektronik & eingebettete Systeme sowie Signal-, Bild- und Datenverarbeitung integriert. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Modellierung von Messsystemen, um Aussagen über die Genauigkeit und Optimierungspotentiale von Mess- und Sensorsystemen zu ermöglichen.

Die bearbeiteten Forschungsprojekte umfassen ein breites Spektrum von der Grundlagenforschung bis hin zur Kooperation mit Partnern aus der Industrie zur Übertragung von Erkenntnissen. Inhaltlich werden relevante gesellschaftliche Themen untersucht, wie beispielsweise zerstörungsfreie Prüfverfahren in der Mikroelektronik, medizinische Bildgebung und Messsysteme für technische Prozesse zur Strömungsmessung und Gascharakterisierung.

Aktuelle Projekte

Unter der Leitung von Jun.-Prof. Christian Kupsch forschen derzeit acht wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in den drei Arbeitsgruppen Ultraschallmikroskopie, Messsysteme für technische Prozesse und Medizinischer Ultraschall.

Eine besondere Verbindung zum Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) besteht in Bezug auf die akustische Strukturaufklärung in neuartigen Materialien und Materialsystemen. Es werden Methoden für die hochauflösende Abbildung mit Ultraschall entwickelt, wobei Auflösungen bis in den Nanometerbereich (axial) erreicht werden. Derzeit wird in diesem Bereich ein Transferprojekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) in Zusammenarbeit mit der PVA TePla Analytical Systems GmbH durchgeführt. Aus diesem Projekt sind zahlreiche Kooperationen innerhalb des ZeHS entstanden, wie beispielsweise zur Untersuchung von funktionalisierten Emaille-Elektroden für Plasmareaktoren in Zusammenarbeit mit der Enadyne GmbH. Weitere Kooperationen umfassen Untersuchungen an Batterien, Zug- und *Small-Punch-Test*-Proben sowie an Galliumnitrid-Halbleitern. Die Vernetzung innerhalb des ZeHS wird weiter ausgebaut und die Ultraschallmikroskopie für weitere Anwendungen im Bereich der Strukturaufklärung qualifiziert.



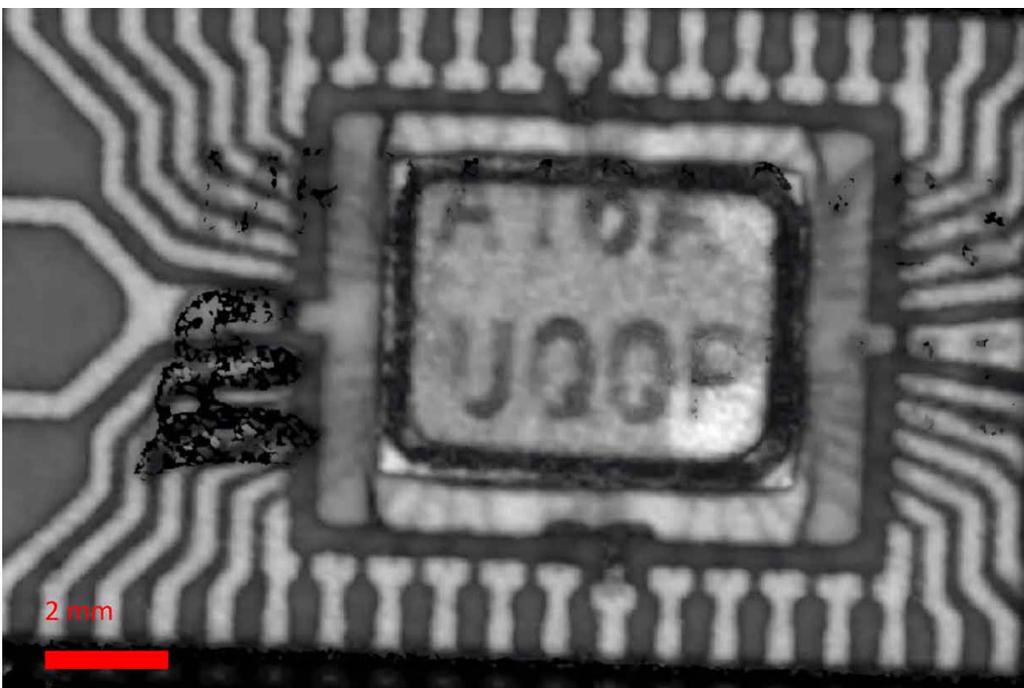
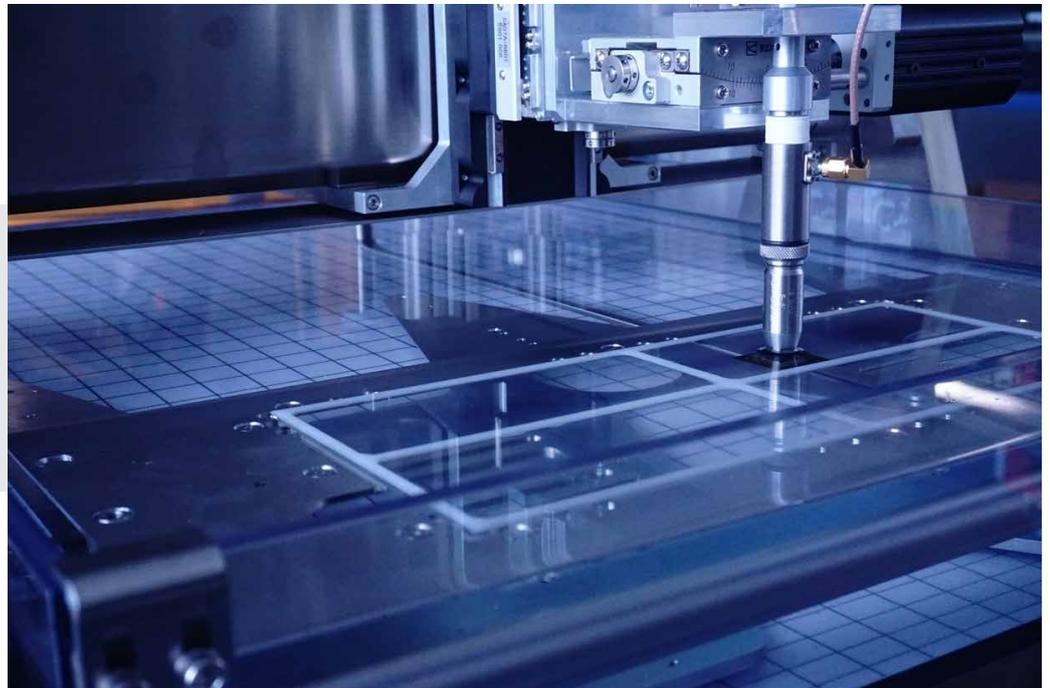
Forschungsprogrammatik des MSE Lab

Übersicht zu Forschungsthemen und Methoden

Ultraschallmikroskop

Probe im Wasserbad zur Untersuchung mit hochauflösender Ultraschallmikroskopie

LABORE NORD, RAUM I.309



Bildgebung mittels Ultraschallmikroskopie

Horizontaler Schnitt durch ein MRAM-Modul

LABORE NORD, RAUM I.309



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, CO₂-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 *Operando*-Raman-Spektroskopie (HO-RAS). 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 zehn Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Arbeitsgruppe die GC-GC/MS zur Untersuchung von synthetischer Kraftstoff- oder langkettiger Wachsprodukte aus der Fischer-Tropsch-Synthese. Insbesondere fand das GC-GC/MS im REF4FU-Vorhaben zur Analyse von hochkomplexen synthetischen Kohlenwasserstoffgemischen Verwendung. Hierbei stand die DHA (*Detailed Hydrocarbon Analysis*) für eine Beurteilung der Zusammensetzung im Vordergrund.

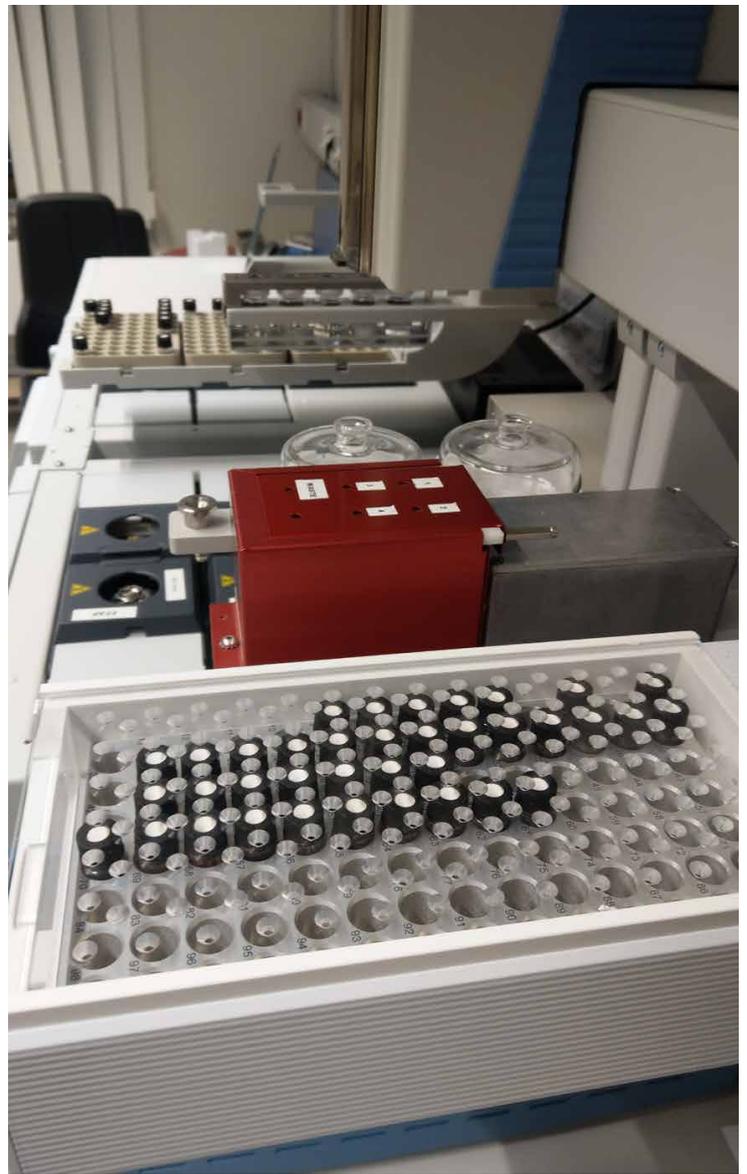
Die Arbeitsgruppe strebt weitere Vernetzungen der am ZeHS aufgenommenen Arbeiten hinsichtlich komplementärer Methoden für die Analyse und die Überführung von Verfahren über den Labormaßstab hinaus an.



HT-LRS

Optisches Fenster zur *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 *D*iagrams) 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 Nb₃Sn-Supraleiterdrähten, die Bildung intermetallischer Phasen beim Löten oder ZrO₂-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 Wärmehalten 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.



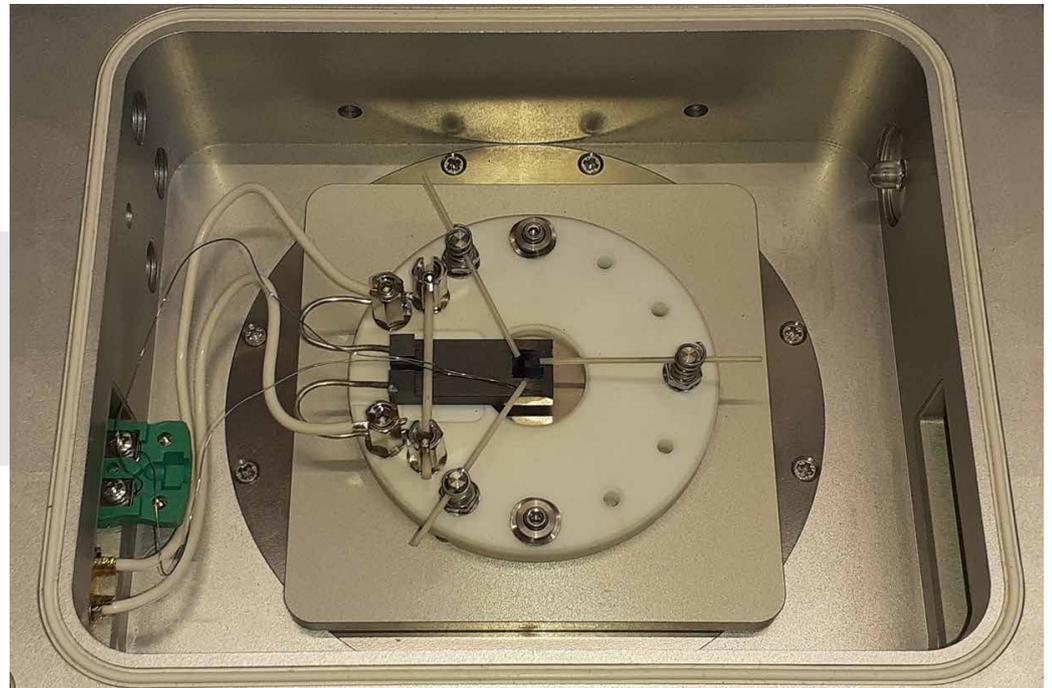
HT-AFM während einer Messung mit glühender Probe

Außenansicht des Geräts

LABORE NORD, RAUM EG.3 I 6

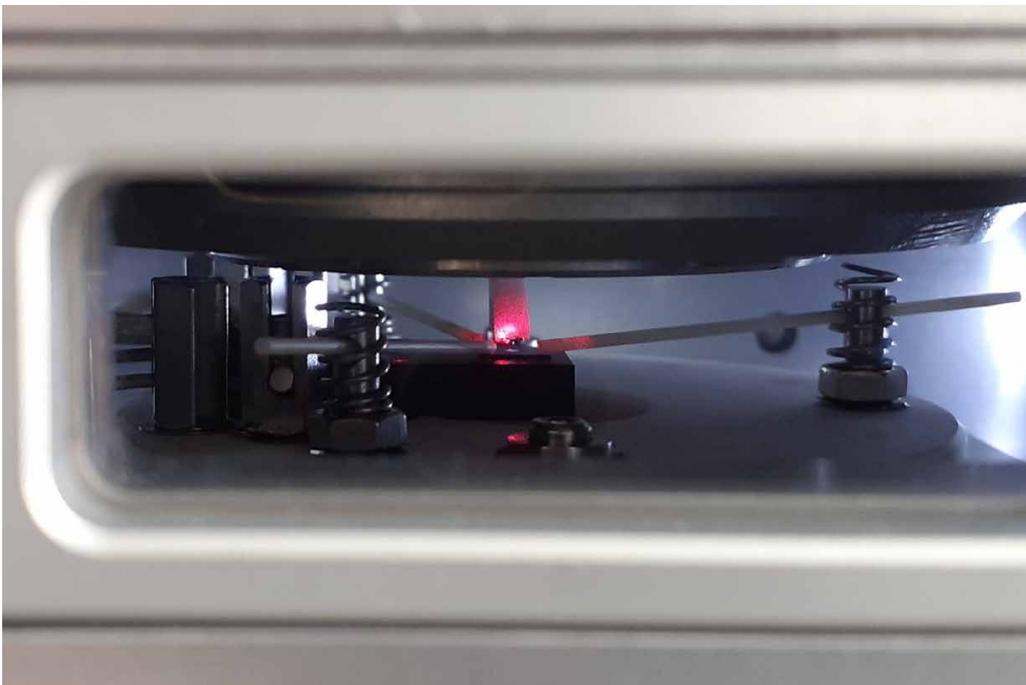
HT-AFM Innenansicht

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.

Eine Übertragung findet der strukturphysikalische und chemische Ansatz seit ca. zehn Jahren zugleich in dem Bereich der Batterieforschung. Dabei konnte eine international geachtete Position in Aluminium-basierten Systemen unter Nutzung Polymer-basierter Feststoffelektrolyte erlangt werden und die Basis für eine weitere (auf erzielten Ergebnissen im Bereich der Lithium-Ionenbatterien erfolgte) Ausgründung geschaffen werden.

Die bearbeiteten Forschungsthemen reichen von der Grundlagenforschung bis hin zur Heranführung an den Markt. Es stehen Herausforderungen mit besonderer 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 in das ZeHS eingebracht. Dabei handelt es sich um eine Anlage zum Sputtern und Blitzlampentempem, 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. Beide genannten Vorhaben setzen gemäß des Kerns der Forschungsprogrammatik des ZeHS für die Fertigung auf zeitlich flexibel einsetzbare, strombasierte Hochtemperatur-Prozesse. Dabei übersteigen charakteristische Temperaturen etwa unter Nutzung von Plasmen jene der Sonne um viele Größenordnungen.

Im Forschungsbau wurden Ankerpunkte des Deutschen Elektronen-Synchrotrons DESY (Leitung Prof. 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 der Synthese, ausgehend von der Laborskala, hin zu industriellen Technologien, wie in der Forschungsprogrammatik des ZeHS vorgesehen. Aktuelle Forschungsprojekte bilden zahlreiche Anknüpfungspunkte für das gesamte Umfeld.



Rolle-zu-Rolle- und Sputter-Blitz-Anlage

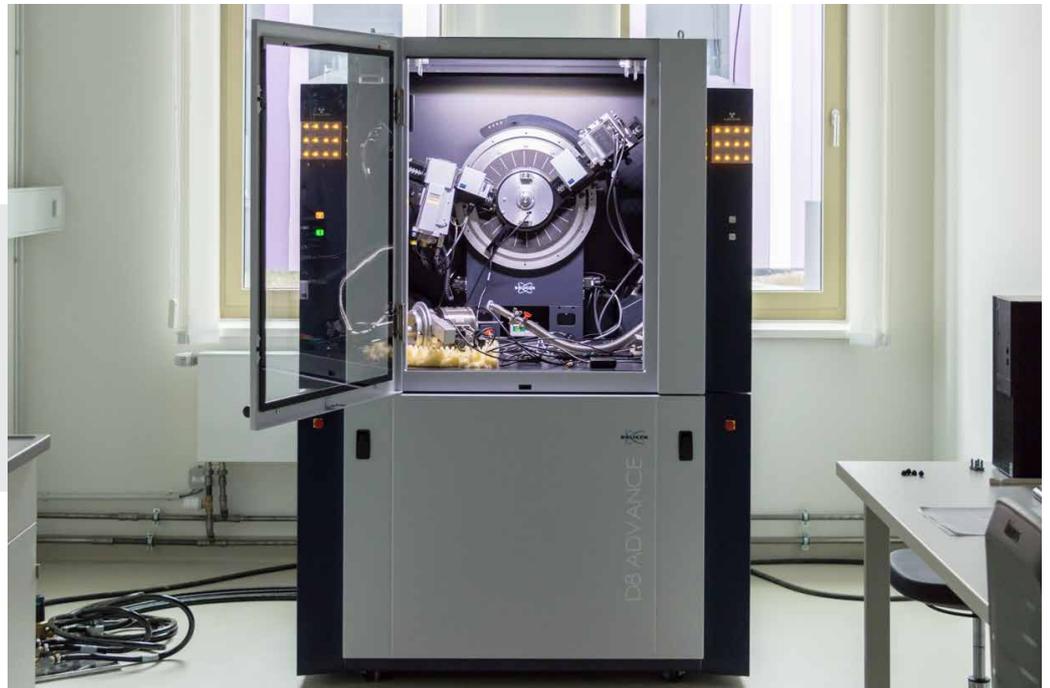
Dünnschichtmaterialien für
Hochtemperaturanwendungen
und Batterie-Elektroden

LABORE SÜD, RAUM EG.204

Röntgendiffraktometer mit Hochtemperaturkammer

Charakterisierung der temperatur-
abhängigen Phasenbildung

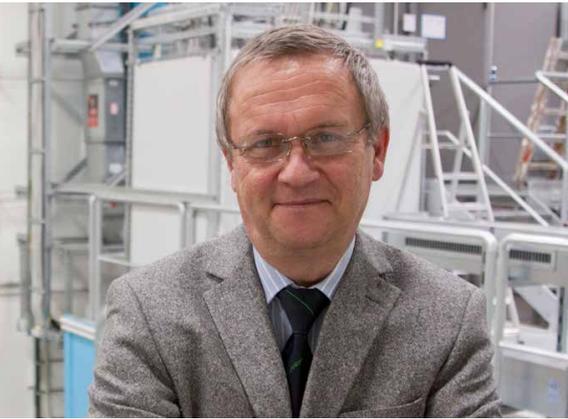
LABORE SÜD, RAUM EG.222



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. Seit Juni 2018 besteht ein bilateraler Kooperationsvertrag zwischen dem EuXFEL und der TUBAF, welcher es 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.

Die Professur Molodtsov betreibt ein neues (Hochtemperatur-) Photoemissionsspektrometers (HT-PES) im ZeHS. Die Einzigartigkeit des Geräts besteht in der Kombination aus (Hochtemperatur)-XPS sowie hochauflösender (Tiefemperatur)-ARPES. Es erlaubt zum einen Probencharakterisierungen mittels XPS (auch bei hohen Temperaturen) und zum anderen Untersuchungen der elektronischen Eigenschaften im Valenzbandbereich mittels UV-Photoelektronenspektroskopie (UPS).

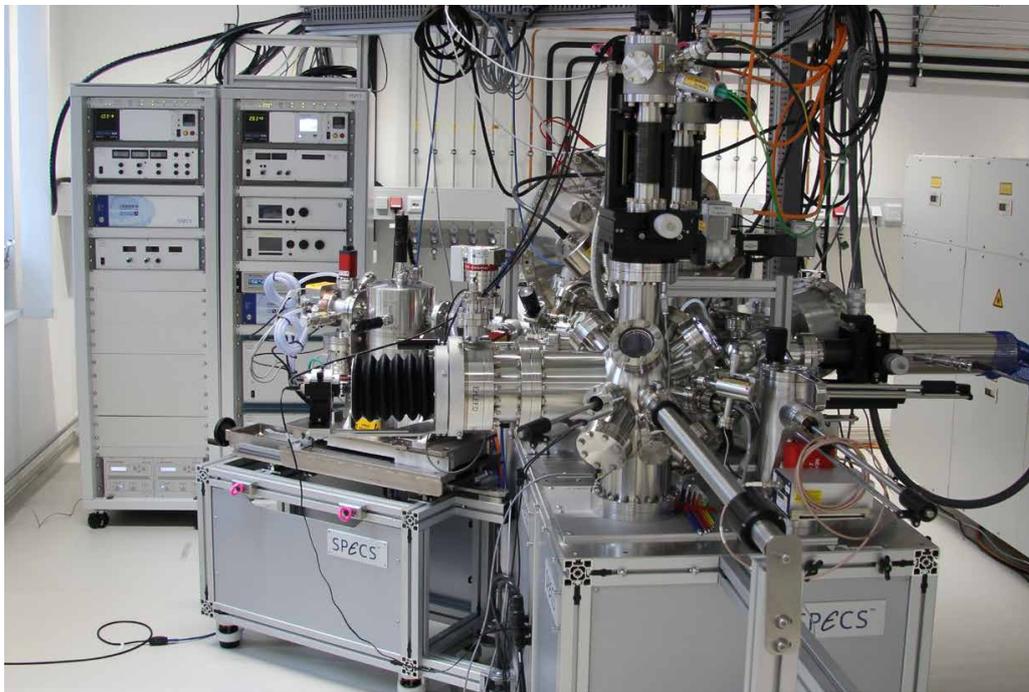
Aktuelle Projekte

Das neue Spektrometer eröffnet die Option, dass Proben in Freiberg hergestellt, unter Vakuumbedingungen gereinigt sowie charakterisiert und anschließend mittels eines Vakuumschutts ohne Kontamination an Großforschungseinrichtungen transportiert werden können. Dieses Vorgehen wurde erstmals 2023 bei einer Messzeit bei FLASH in Hamburg genutzt.

Die Ausbildung umfasst auf der einen Seite die unmittelbare Einbindung von Studenten in die Forschung, auf der anderen Seite die Vermittlung von Wissen in Form von Spezialvorlesungen mit den Titeln „Materials Research with Free-Electron X-Ray Lasers“ sowie „Spectroscopy – Synchrotron radiation and its applications“. In den letzten Jahren konnte die Arbeitsgruppe dieses neue Modul erfolgreich an der TUBAF etablieren, was sich in konstant hohen Teilnehmerzahlen widerspiegelt.

Die Arbeitsgruppe ist seit Oktober 2022 im Rahmen des Förderprogrammes ErUM-Pro des BMBF (Förderkennzeichen 05K22OF2) am Aufbau eines neuen Photoelektronenspektrometers für die Untersuchung des Ladungstransfers an Grenzflächen mittels Pikosekundenzeitaufgelöster Photoelektronenspektroskopie bei Umgebungsdruck bei BESSY II in Berlin maßgeblich beteiligt. Ziel ist es Ladungstransferdynamiken von photoinduzierten, katalytischen Reaktionen in Echtzeit zu messen.

Zudem ist die Arbeitsgruppe aktiv an der Gestaltung des Sachsen-DESY-Kooperationszentrums beteiligt. Ziel ist die Bündelung von Forschungsaktivitäten und das Initiieren neuer gemeinsamer Vorhaben im Bereich der Synchrotronforschung. Dazu hat Dr. Friedrich Roth beim ersten Meeting sächsischer DESY-Nutzer, welches vom 23. bis 24. 11. 2023 in Hamburg stattfand, die Forschungsaktivitäten der Arbeitsgruppe in einen Vortrag vorgestellt.



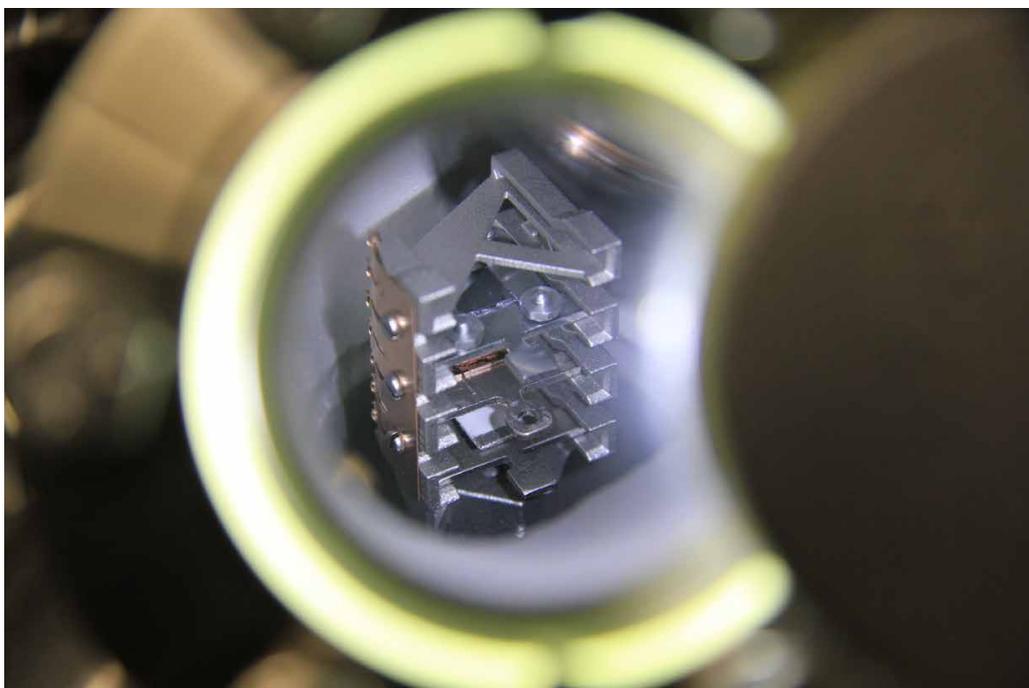
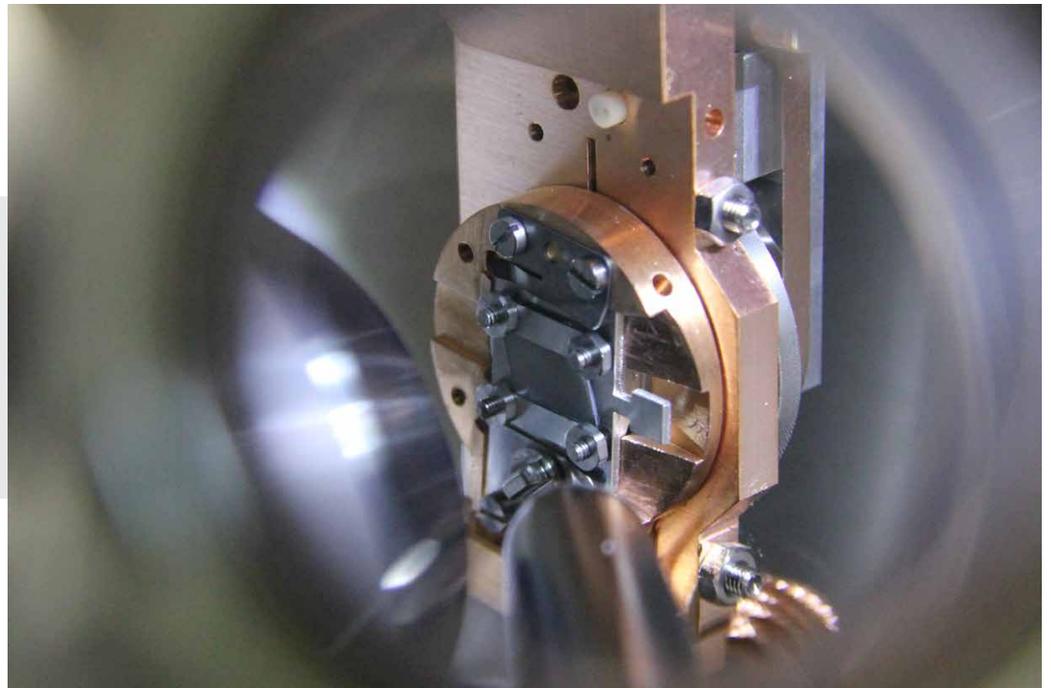
HT-PES

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

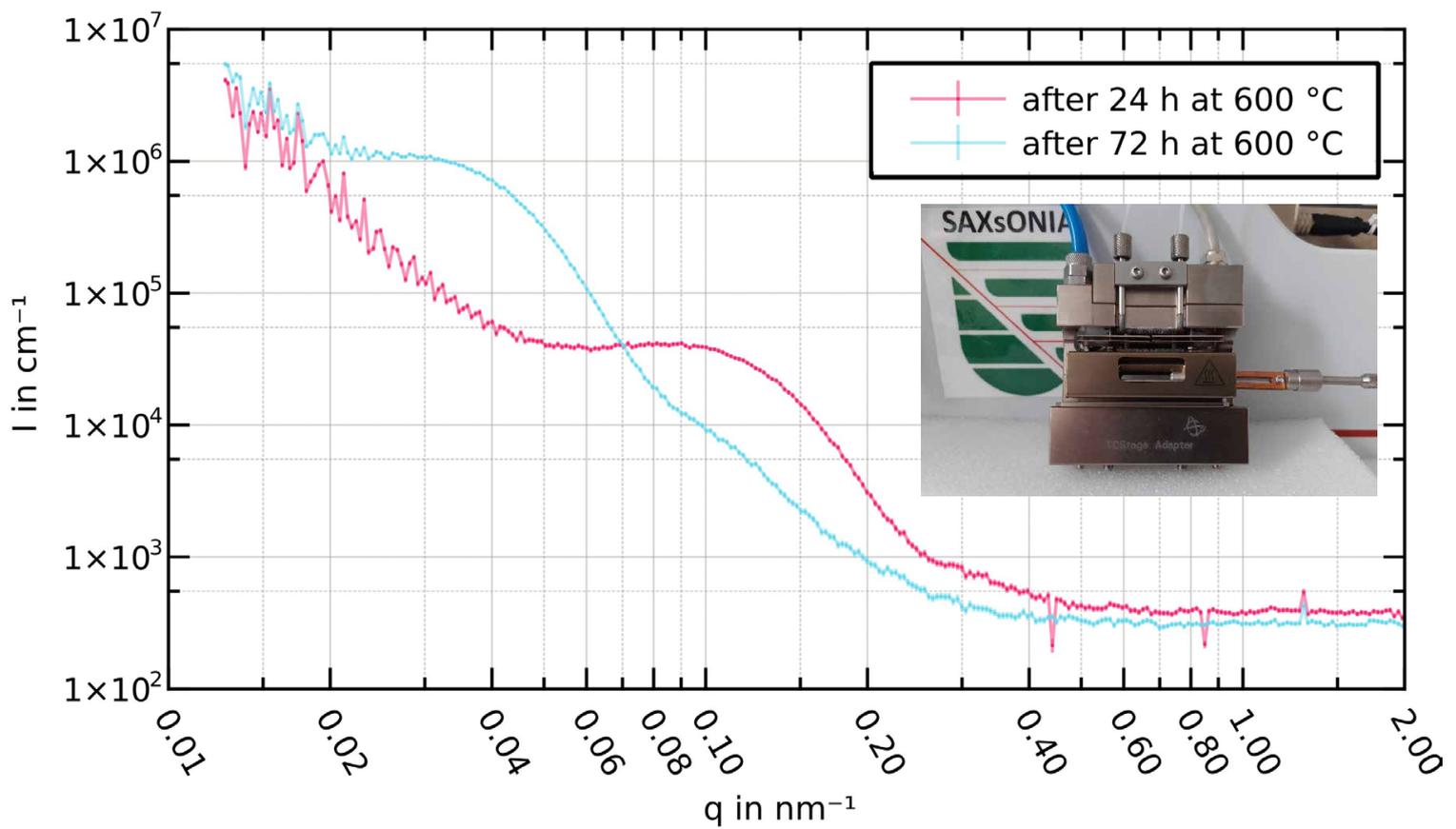
Forschungsschwerpunkte

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 Strukturereinheiten 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

Unsere Röntgenstreuanlage ist geeignet, nicht nur die Kristallstruktur und deren Änderung während Umwandlungen aufzuklären, sondern auch strukturelle Änderungen im Nanometerbereich (bis hin zu mehreren 100 nm) zu verfolgen. Hier interessiert uns insbesondere die Struktur von nanopartikulären Systemen sowohl in Dispersion als auch an Grenzflächen. Zudem ist die Anlage eigens für Forschungsfragestellungen des ZeHS geeignet. Das Gerät beinhaltet einen Hochtemperaturhalter für die Untersuchung von Stoffumwandlungen an Oberflächen. Seit kurzem steht uns auch ein weiterer Halter zur Verfügung, mit dem man das Bulkverhalten von z. B. Glas bei hohen Temperaturen untersuchen kann.

Aktuell forschen die Mitarbeiter der Gruppe u. a. an der elektrochemischen Abscheidung von Hybridmaterialien, an Oberflächenstrukturierungen mittels anorganischer/organischer Nanoteilchen, an schaltbaren Oberflächen, an einer oberflächentemplierten Synthese von neuartigen Nanogelen und an der Realisierung von Nichtgleichgewichtssystemen zur kontrollierten Energiespeicherung und Energiefreisetzung.



Röntgenkleinwinkelstreuanlage „SAXsONIA“

SAXSpoint 5.0 von Anton Paar

LABORE NORD, RAUM 1.320

Röntgenkleinwinkelstreuemessungen (Small Angle X-Ray Scattering – SAXS) an einem binären $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$ Modell-Glas

Die Messungen zeigen die strukturellen Änderungen während der Hitzebehandlung. Ein Foto des Probenhalters ist eingesetzt.





Prof. Dr. Oliver Rheinbach

**Hochleistungsrechnen in der
Kontinuumsmechanik**

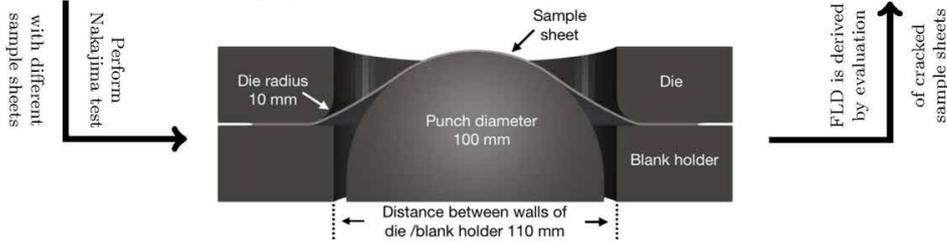
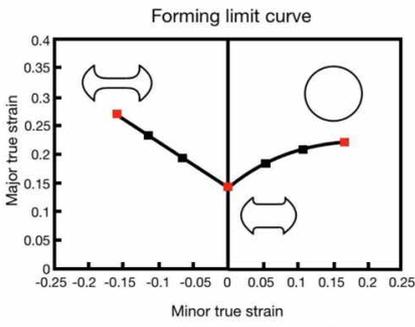
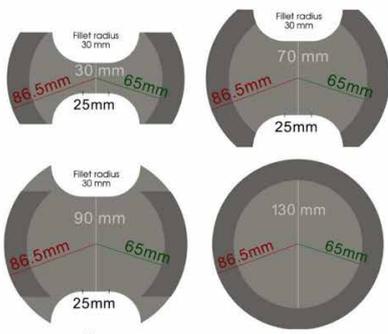
Forschungsschwerpunkte

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.

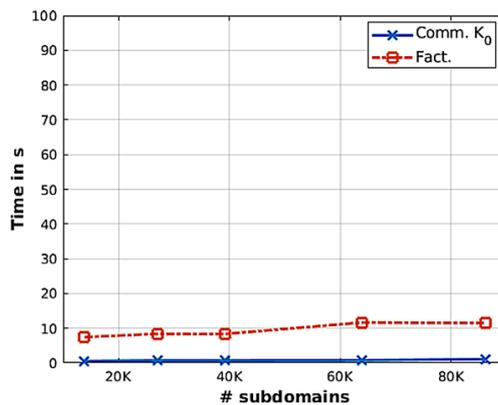
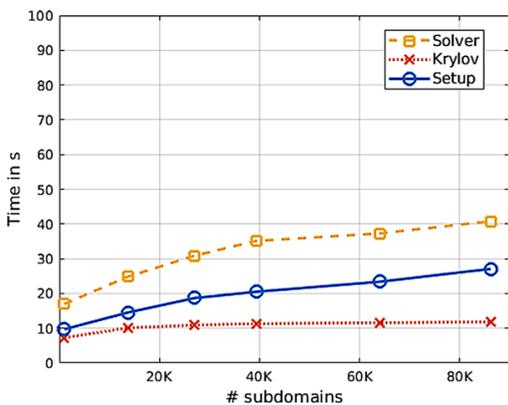
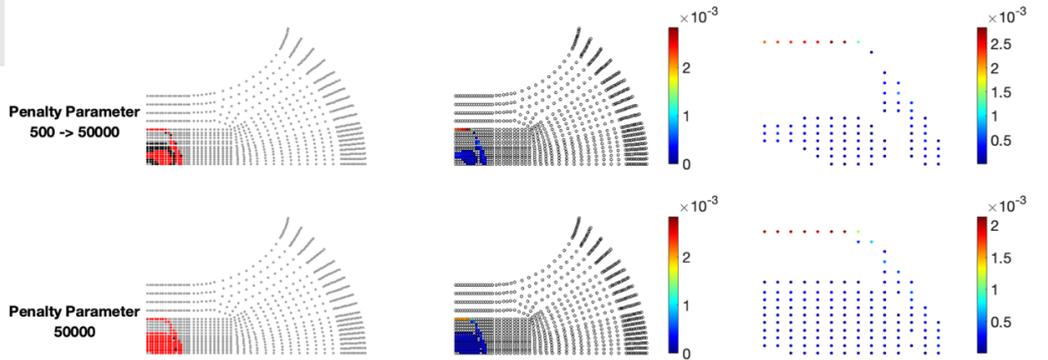
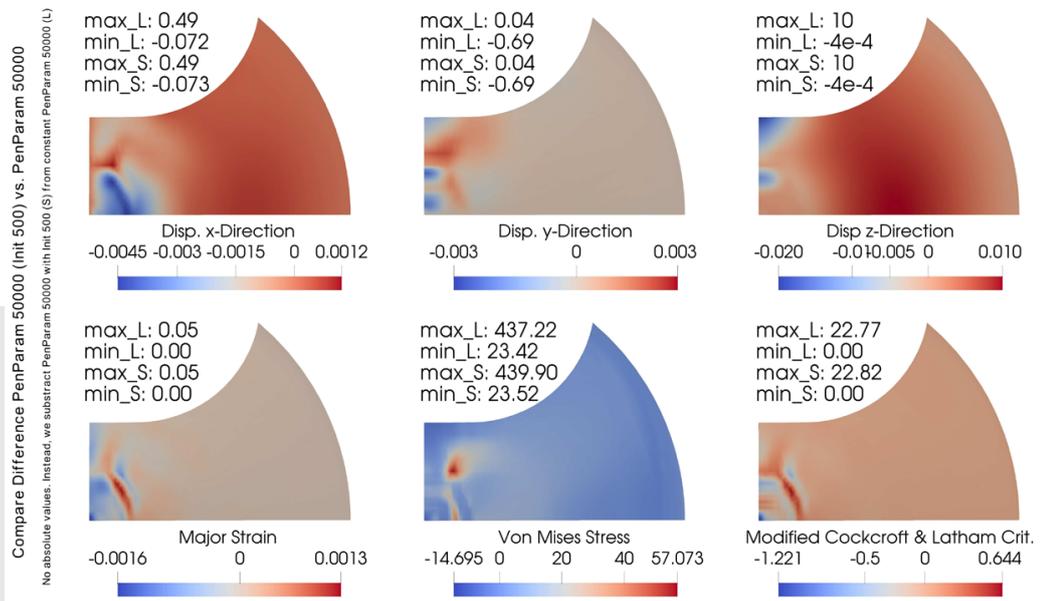


Simulation eines Nakajima-Tests

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)



Prof. Dr.-Ing. Andreas Richter

Modellierung thermochemischer Konversionsprozesse

Forschungsschwerpunkte

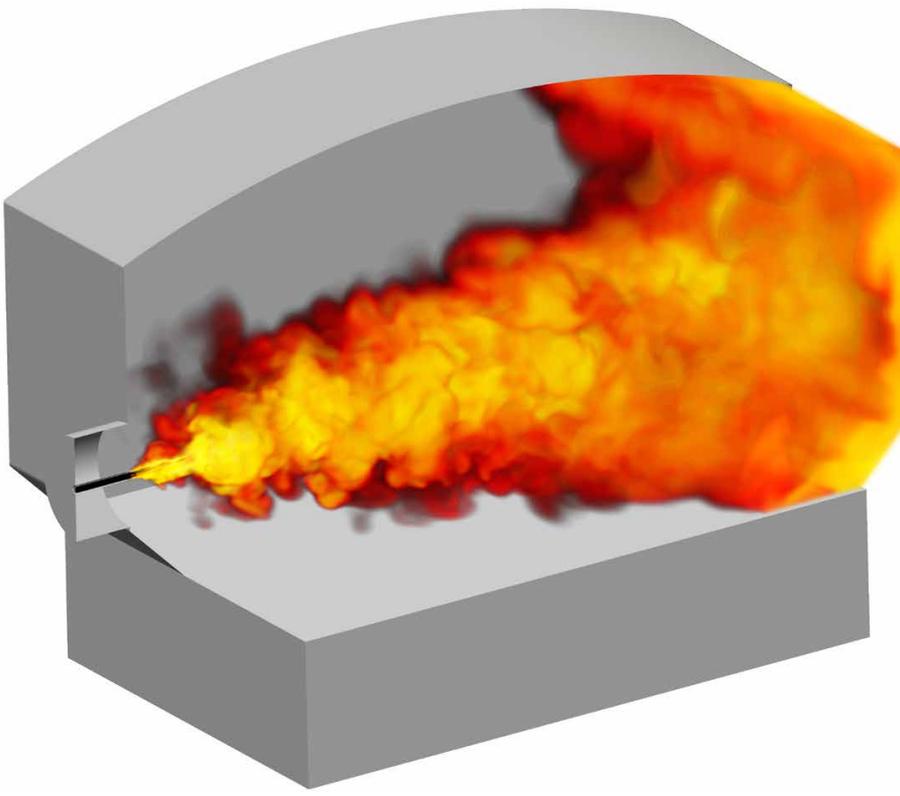
Die Arbeitsgruppe Modellierung thermochemischer Konversionsprozesse konzentriert sich auf die modellbasierte Entwicklung, Erprobung und Optimierung neuer, nachhaltiger Technologien für energieintensive Produktionsprozesse in der chemischen Industrie, der Metallurgie und der Glasindustrie. Im Vordergrund steht die Umstellung auf eine nachhaltige Produktion durch den Einsatz erneuerbarer Energieträger. Dies kann nur gelingen, wenn mithilfe modernster Simulationswerkzeuge die zeit- und kostenintensive Transformation signifikant beschleunigt und modellgestützt Risiken und Sicherheitsfragen bei der Technologieumstellung minimiert werden können.

Die Arbeitsgruppe entwickelt die dafür notwendigen Modelle und setzt sie zur Berechnung, Erprobung und Optimierung unterschiedlichster Reaktoren und Synthesen ein. Die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten decken dabei den gesamten Skalenbereich vom chemisch reagierenden Einzelpartikel bis hin zum Gesamtreaktor ab und reichen von der Grundlagenforschung bis zur Technologieentwicklung gemeinsam mit Partnern aus der Industrie und Wirtschaft. Weitere Forschungsschwerpunkte sind die beschleunigte Prozesssimulation und -optimierung unter Einsatz des maschinellen Lernens sowie die modellgestützte Auswertung von Hochtemperaturexperimenten.

Aktuelle Projekte

Unter der Leitung von Jun.-Prof. Sindy Fuhrmann und Prof. Andreas Richter forscht die am ZeHS angesiedelte Nachwuchsforschungsgruppe QualiGlas an zukünftigen Technologien zur nachhaltigen, CO₂-emissionsneutralen Glasherstellung. Der Forschungsschwerpunkt liegt auf der Technologietransformation bei gleichzeitiger Sicherung höchster Qualitätsanforderungen an die Glasprodukte. Insgesamt 6 Wissenschaftler führen systematische, experimentelle Untersuchungen zu den Mechanismen durch, die die Glasqualität unter Nutzung alternativer Brennstoffe bestimmenden, und entwickeln darauf aufbauend digitale Auslegungs- und Optimierungswerkzeuge.

Die F&E-Aktivitäten der Nachwuchsforschungsgruppe umfassen einen weiten Bereich der wissenschaftlichen Bandbreite der Modellierungs-Arbeitsgruppe und reichen von der Grundlagenforschung an reaktiven Grenzflächen über das modellbasierte Experiment bis zur virtuellen Bewertung, Analyse und Optimierung neuer Produktionsprozesse einschließlich der Entwicklung KI-basierter digitaler Zwillinge zur Prozesssteuerung und Echtzeit-Optimierung. Dieser modellgestützte Ansatz ermöglicht es, neue technologische Konzepte zeit- und kosteneffizient nicht nur bezüglich der Bilanzgrößen, sondern auch hinsichtlich der Prozesssicherheit und Produktqualität zu bewerten.



Berechnung der turbulenten Strömung in einem Segment eines Glasofens

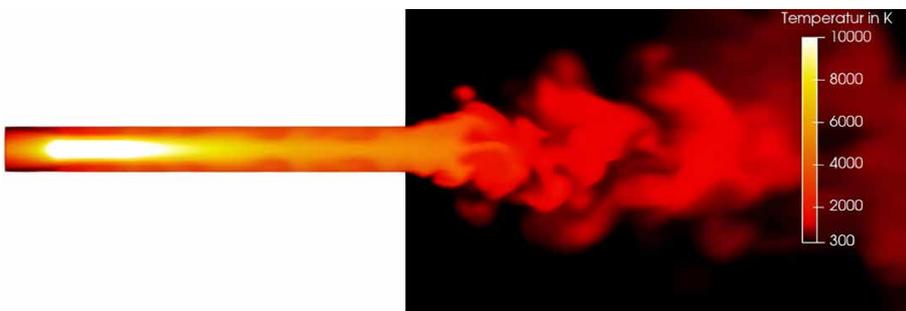
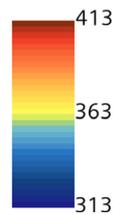
Die dargestellte räumliche Temperaturverteilung (Temperaturbereich 300 K bis 2400 K) verdeutlicht die komplexen turbulenten Strukturen, die mittels einer hochauflösenden Large-Eddy-Simulation berechnet wurden.

Berechnung der inhomogenen Temperaturverteilung in einer Schüttung nichtkugelförmiger Katalysatorpartikel

Die rechenintensive Auflösung jedes einzelnen Partikels erlaubt die detaillierte Analyse lokaler Strömungseffekte und des Wärmetransports innerhalb der Katalysatorschüttung.



Temperature (K)



Hochauflösende Large-Eddy-Simulation einer Mikrowellen-Plasmafackel

Luft wird mithilfe von Mikrowellen innerhalb einer Quarzglasröhre ionisiert, wodurch Temperaturen über 10000 K berechnet werden. Die Strömungssimulation ermöglicht die Untersuchung der thermochemischen Prozesse in der Plasmafackel und die Analyse der Stabilität des stark verdrallten Freistrahls.



Prof. Dr. Björn Sprungk

**Angewandte Mathematik,
Unsicherheitsquantifizierung**

Forschungsschwerpunkte

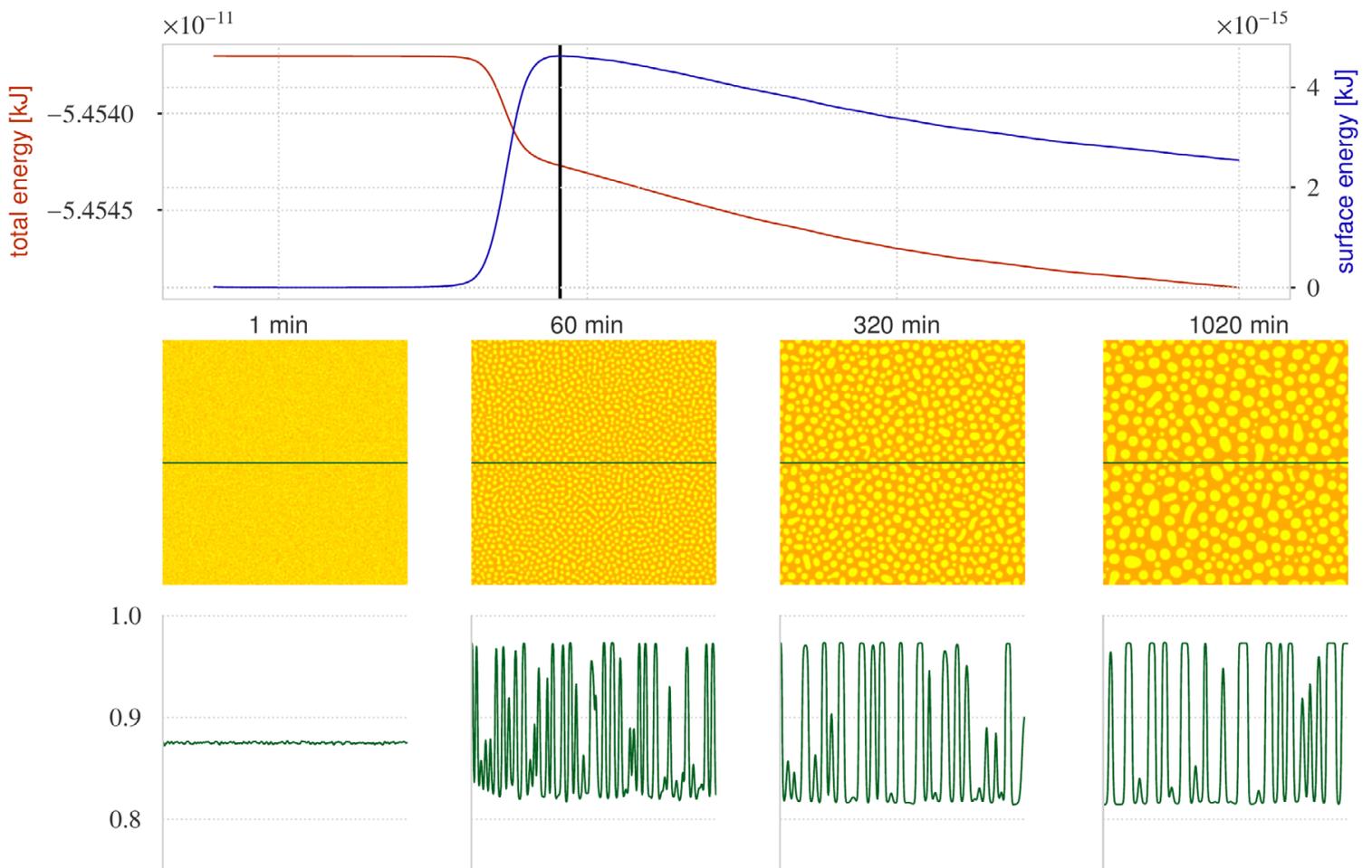
Die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Björn Sprungk beschäftigt sich mit der Beschreibung und Berücksichtigung von Unsicherheiten in komplexen Systemen. Der Fokus liegt dabei auf physikalischen oder technischen Prozessen, welche durch Differentialgleichungen mathematisch abgebildet werden. In diesen Gleichungen 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 statistische Methoden zur Modellkalibrierung und Parameteridentifikation bei gegebenen Messdaten untersucht. Hier verfolgt die Arbeitsgruppe Bayes'sche Ansätze verbunden mit fortgeschrittenen Markow-Ketten-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. Sindy Fuhrmann bearbeitet wird, untersucht das Teilprojekt „Prozesssimulation unter Unsicherheit und Robuste Prozesssteuerung“ unter Leitung von 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. Um Abscheidungsprozesse unter Berücksichtigung externer Kraftfelder zu modellieren, wird diese zudem mit der Navier-Stokes-Gleichung gekoppelt.

Im Teilprojekt erforschen Dr. Henning Höllwarth und Matthias Werner 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 und die Ergebnisse ferner anhand bereitgestellter experimenteller Daten verifiziert.

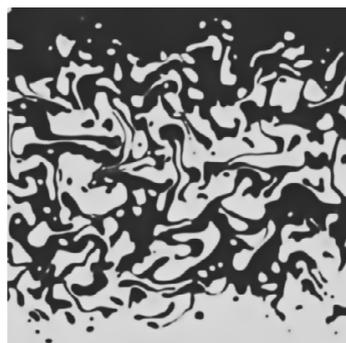
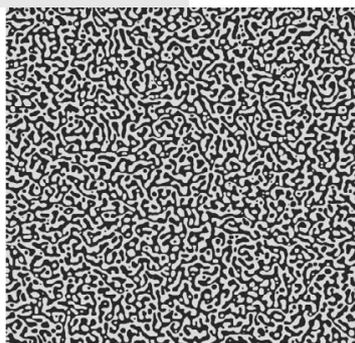
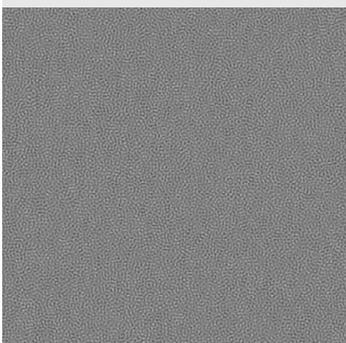


Simulation der Phasentrennung unter Berücksichtigung des Absinkens der schwereren Phase durch Gravitation

Dazu wurde das Cahn-Hilliard-Modell mit der Navier-Stokes-Gleichung gekoppelt gelöst.

Fortschreitende Phasentrennung in einem $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$ -Gemisch

Die zeitliche Entwicklung von links nach rechts wurde durch die numerische Lösung der Cahn-Hilliard-Differentialgleichung in zwei Raumkoordinaten simuliert. Gezeigt ist auch der zugehörige zeitliche Verlauf der totalen und der Oberflächenenergie. Ein Abklingen der aufgrund der Phasentrennung zunächst angestiegenen Oberflächenenergie wird als Beginn der Ostwaldreifung bzw. als Zeitpunkt hinreichender Separation angesehen (schwarzer Balken). Dargestellt in den unteren Grafiken ist die ortsabhängige Konzentration von SiO_2 in der Fläche und entlang der grünen Profilinie.





Prof. 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 an Synchrotronforschungseinrichtungen, als auch die Modellierung der elektronischen Struktur von Kristallen und abgeleiteten Eigenschaften.

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

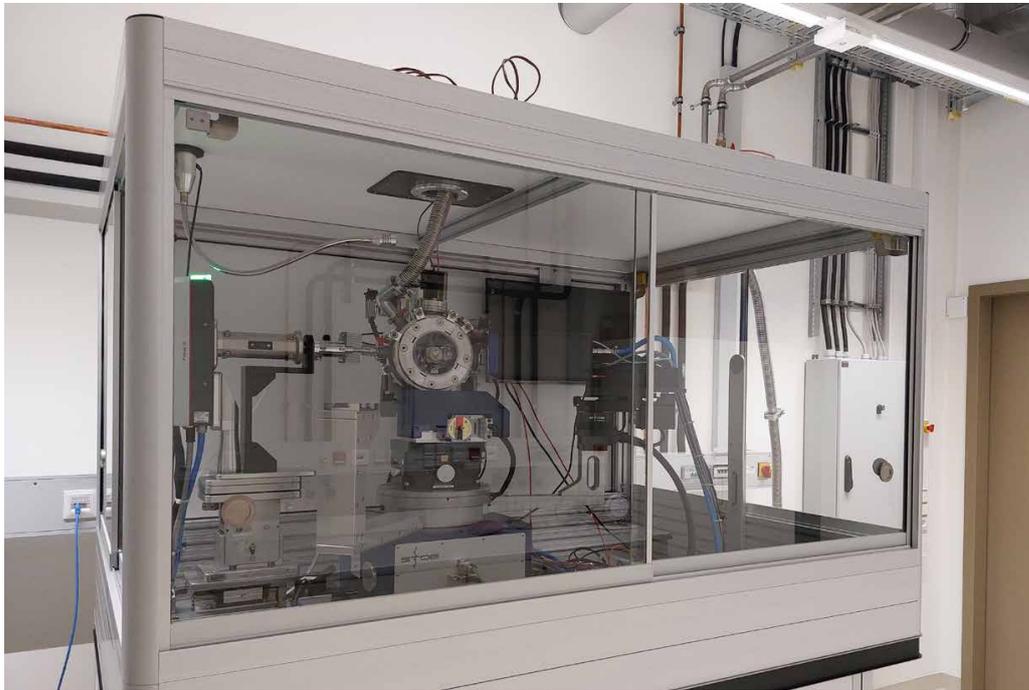
Die Arbeitsgruppe war beim 33. *European Crystallography Meeting* ebenso vertreten wie beim Jahrestreffen der Deutschen Gesellschaft für Kristallographie. Neben diesen Tagungen war es auch eine große Freude mit dem Institut für Experimentelle Physik das zweite gemeinsame Treffen der Jungen Kristallographen und der Jungen Kristallzüchter in Freiberg am ZeHS auszurichten. Weiterhin wurden mehrere Beiträge für ein *Special Issue* „Spotlight on Germany's Young Crystallographers“ in der Zeitschrift für Kristallographie verfasst.

Aktuelle Projekte

Im Projekt AcoustREXS (DFG 409743569), für welches im März 2023 der Abschlussbericht eingereicht wurde, lag 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 ParameterSpaceConcept (DFG 442646446), das noch bis Oktober 2024 läuft, 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. eine individuell angepasste 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 am ZeHS weiterentwickelt.

Im Dezember des Jahres 2022 konnte die Arbeitsgruppe den Sonderaufbau eines STADIVARI-Diffraktometers von STOE & Cie GmbH realisieren. Das Diffraktometer wurde so entwickelt, dass Probenkammern wie die Nordseekammer von über 10 kg Gewicht für Röntgenbeugungsexperimente auch im Labor zum Einsatz kommen können. Mit dem neuen Diffraktometer kann die Arbeitsgruppe nun Synchrotronexperimente noch besser verbreiten und nicht-resonante Materialuntersuchungen mit der Nordseekammer durchführen.



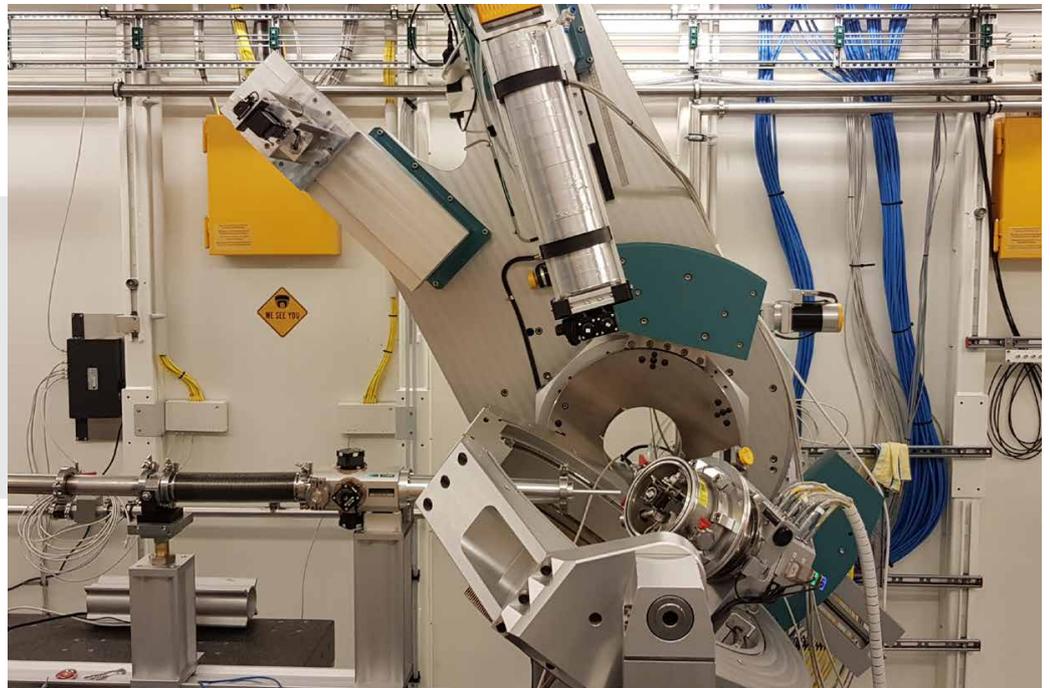
Einkristall-Diffraktometer STOE STADIVARI

Sonderbau für die Nutzung der Nordseekammer im Labor zur strukturellen Charakterisierung von Einkristallen

LABORE NORD, RAUM I.304

Huber-Diffraktometer an der *In-situ* X-ray diffraction and imaging beamline P23 (DESY)

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.304



FORSCHUNGSPROJEKTE





**ZENTRUM FÜR EFFIZIENTE
HOCHTEMPERATUR-STOFFWANDLUNG**

Aktivierung des Nitrierens – Obstructed and unobstructed growth of expanded austenite layers

**Dr.-Ing. Saeed M. Jafarpour, Prof. Dr.-Ing. habil. H. Biermann,
Prof. Dr. rer. nat. habil. A. Leineweber**
DFG-Projekt 506499554

Zielstellung

Das DFG-Projekt „Obstructed and unobstructed growth of expanded austenite layers“ verfolgt das Ziel der Erforschung grundlegender Aspekte des gehemmten und nicht gehemmten Wachstums von Schichten aus expandiertem Austenit während der plasmagestützten thermochemischen Diffusionsbehandlung von austenitischen nichtrostenden Stählen unter Verwendung eines Aktivgitters aus Stahl bzw. aus Kohlenstoff. Der Schwerpunkt liegt auf der Untersuchung der durch unterschiedliche Mechanismen ausgelösten notwendigen Oberflächenaktivierung, die eine Voraussetzung für die Bildung dicker und gleichmäßiger Schichten aus expandiertem Austenit ist.

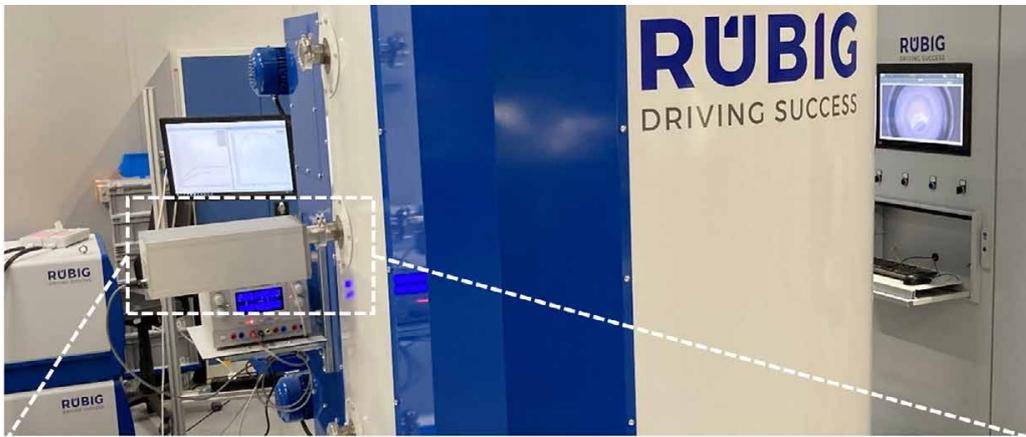
Verschiedene Szenarien der Oberflächenaktivierung und des Wachstums von Schichten aus expandiertem Austenit werden beim Plasmanitrieren, Plasmacarburierten und Plasmanitrocarburierten versuchsbegleitend mittels *In-situ*-Plasmaanalytik durch Laserabsorptionsspektroskopie (LAS) hinsichtlich der Art und Konzentrationen messbarer reaktiver Gasspezies quantifiziert. Diese Daten werden mit der resultierenden Materialreaktion korreliert, wobei oberflächensensitive Techniken sowie eine eingehende Analyse der Mikrostrukturentwicklung, die durch den Einbau von Stickstoff und/oder Kohlenstoff in den expandierten Austenit verursacht wird, eingesetzt werden.

Aktuelle Arbeiten

Die Arbeiten wurden im September 2022 gemeinsam vom Institut für Werkstofftechnik (IWT) unter Leitung von Prof. Biermann und dem Institut für Werkstoffwissenschaft (IWW) unter Leitung von Prof. Leineweber begonnen.

Die technisch-technologischen plasmagestützten Versuche erfolgen an einer Plasmanitrier-Anlage mit Warmwandunterstützung unter Anwendung verschiedener Technologie-Ansätze zur Erzeugung reaktiver Gase direkt im Plasmaprozess. Dafür wurde das an der Plasmaanlage flexibel installierbare LAS-Sensorsystem mit einem zusätzlichen Messlaser mit einer Emissionswellenlänge von 7,397 μm erweitert. Damit umfasst die querempfindlichkeitsfreie Detektion der infolge der Plasma-Frischgas-Wechselwirkung erzeugten Gasspezies neben HCN und NH_3 nun auch das C_2H_2 -Molekül. Gleichzeitig wurde das LAS-System derart in den Plasmaprozess integriert, dass die versuchsbegleitende Auswertung der Emissionsspektren unter Ausführung eines Datenabgleichs mit der HITRUN-Datenbasis erfolgen kann und schnelle, präzise Messungen der Prozessgaszusammensetzung erlaubt.

Die gezielte Einstellung der plasmaaktivierten Prozessgaszusammensetzung dient dabei der Umsetzung der Aktivierungsmechanismen für die Modifikation der selbstpassivierenden Oberflächen von nichtrostendem Stahl. Erste Untersuchungsergebnisse zeigen die variierenden mikrostrukturellen Veränderungen infolge unterschiedlicher reaktiver Prozessgase und variierenden Plasma-Bedingungen an der Stahloberfläche.



RUBIG
DRIVING SUCCESS

RUBIG



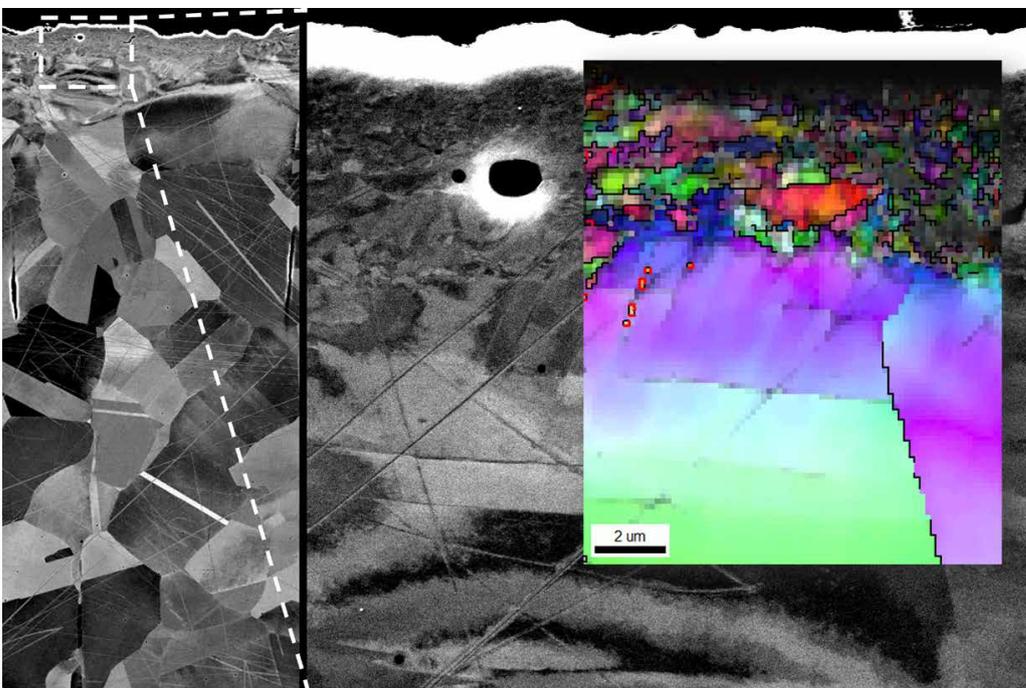
Qmacs LAS-Sensorsystem

Laserspektrometer zur
In-situ-Plasmanalyse

HALLE B, BEREICH 9

**Wasserstoff-Plasma im
Nitrier-Reaktor**

Optischer Zugang zur
Implementierung der Laserdiagnostik



**Rasterelektronenmikroskopie-
Aufnahme mit kristallographischer
Analyse eines
Detailbereichs**

Randschicht des Stahls X2CrNi-
Mo17-12-2 nach Einlagerung von
Stickstoff und Kohlenstoff infolge des
Plasmanitrocarburierens

Entwicklung neuer plasmagestützter Verfahren für thermochemische Randschichtbehandlungen von Eisenwerkstoffen mit einem Aktivgitter aus Kohlenstoff

Dr.-Ing. Anke Dalke, Prof. Dr.-Ing. habil. H. Biermann
 DFG-Verbundprojekt 289846720

Zielstellung

Im Forschungsvorhaben, das vom Institut für Werkstofftechnik der TUBAF in Kooperation mit dem Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. Greifswald (INP) bearbeitet wurde, erfolgte die Erforschung der Grundlagen für die Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Randschichtbehandlung von Eisenwerkstoffen mit einem Aktivgitter aus kohlenstoffaserverstärktem Kohlenstoff (CFC). Die Arbeiten erfolgten ab 02/2022 bis zum Projektende 08/2022 im ZeHS.

Der Ersatz eines Stahl-Aktivgitters durch ein CFC-Gitter eröffnet der Plasmadiffusionsbehandlung mit einem Aktivgitter völlig neue Möglichkeiten. Das chemische Sputtern gestattet die Erzeugung hochreaktiver ungesättigter H-C-N-Verbindungen direkt im Prozess aus einfachen molekularen und atomaren Bausteinen. Die hohe Reaktionsfähigkeit ermöglicht einen weitgehenden Verzicht auf eine zusätzliche Bias-Spannung und damit z. B. eine Behandlung von Schüttgut. Sie gewährleistet eine konturen-treue Behandlung von Bauteilen komplexer Geometrie z. B. mit tiefen Bohrungen. Gleichzeitig wird die für das Stahl-Gitter charakteristische Kontamination der Plasmaanlage mit Stickstoff und Kohlenstoff vermieden. Damit entfallen auch die sich aus der unkontrollierten Freisetzung von Stickstoff und Kohlenstoff ergebenden Probleme für eine kontrollierte Prozessführung.

Aktuelle Arbeiten

Im Mittelpunkt der Arbeiten stand die Analyse der plasmachemischen Reaktionen, die sich aus der Wechselwirkung von H₂-N₂-Plasmen mit Kohlenstoff ergeben, sowie die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den im Plasma ablaufenden Reaktionen und den an ausgewählten Stählen erzielten Behandlungsergebnissen. Zur Quantifizierung der plasmaaktivierten Gaszusammensetzung wurden leistungsfähige Methoden der Plasmadiagnostik unter Nutzung von EC-QCLAS (*external cavity quantum cascade laser absorption spectroscopy*) eingesetzt. Es konnten prozesswirksame Einflussgrößen identifiziert werden, die maßgeblich die Menge und die Zusammensetzung der erzeugten Gase beeinflussen. Dazu zählten die Gesamtfläche des CFC-Aktivgitters, die am Aktivgitter angelegte Plasmaleistung und das Verhältnis von N₂ und H₂ im N₂/H₂-Präkursor-Gasgemisch. Als ein wesentlicher, industriell relevanter Erkenntnisgewinn konnte die Möglichkeit der Schüttgutbehandlung ohne Bias als technologische Weiterentwicklung der Aktivgitter-Technologie erfolgreich nachgewiesen werden.

Der Ansatz zur Etablierung plasmabeaufschlagter Kohlenstoffoberflächen für die Plasmadiffusionsbehandlung metallischer Komponenten wird in weiterführenden Projekten am ZeHS in den nächsten Jahren sowohl in grundlagenorientierter als auch in industrienaher Forschung vertieft.



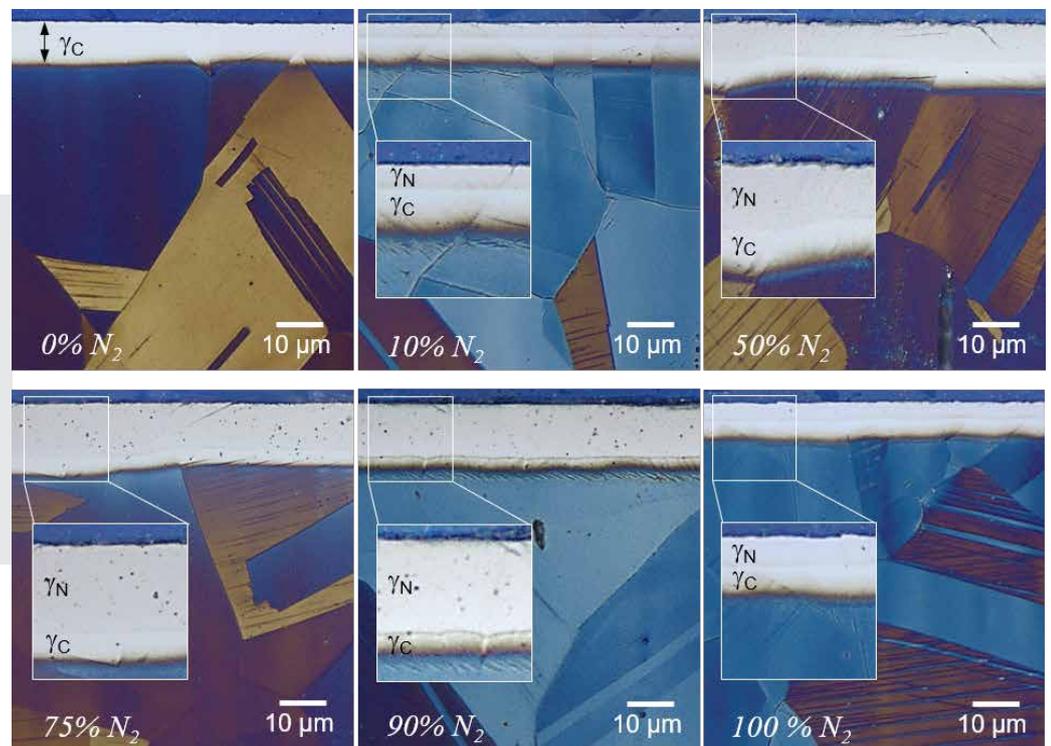
Prozessüberwachung des Aktivgitter-Plasmanitrierens

Plasmanitrieren mit Aktivgitter aus Kohlenstoff

HALLE B, BEREICH 9

Infolge des Aktivgitter-Plasmanitrierens veränderte Randschicht von Stahl

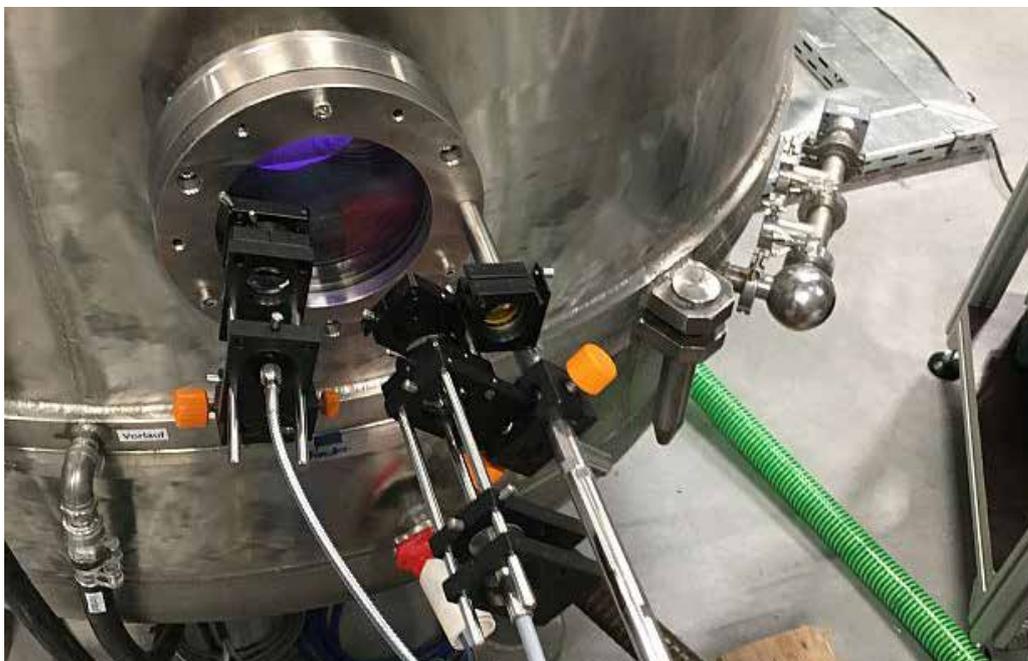
Randschicht von austenitischem nichtrostendem Stahl X2CrNiMo17-12-2 in N_2 - H_2 -Plasma unter Variation des Stickstoffanteils im Frischgas



Einkopplung des Laserstrahls in die Prozesskammer der Aktivgitter-Plasmananlage

Versuchsbegleitende Plasmediagnostik

HALLE B, BEREICH 9



Extraterrestrische Ressourcentechnologien – Entwicklung neuer Regolith-Simulate und Rohstoffgewinnung aus Regolith

Prof. Dr. Carsten Drebenstedt, Dr. Jens Grigoleit

Zielstellung

Die anspruchsvollen Aufgaben, die mit dem Bau und Betrieb von Stationen auf anderen Himmelskörpern verbunden sind, bedingen eine intensive Forschung und Entwicklung in vielen Wissenschaftsbereichen, die viele Ansätze für unserer Universität bieten, wie Robotik, KI, geschlossene Stoffkreisläufe, neue Materialien, chemische und thermische Stoffwandlungsprozesse, rechtliche und ethische Aspekte. Die Erweiterung der wissenschaftlichen Untersuchungen zu Weltraumtechnologien ist eine gute Basis für die Qualifizierung entsprechender Studienprogramme.

Erste eingeworbene Forschungsvorhaben betreffen z. B. die Entwicklung eines Regolith-Simulates, das den besonderen Eigenschaften des Oberflächengesteins auf dem Mond und anderen Himmelskörpern nahekommt. Im Rahmen eines Promotionsvorhabens wird die Herstellung entsprechender Simulate in größeren Mengen aus in Sachsen vorkommenden Rohmaterialien untersucht.

Ein weiteres erfolgreich gestartetes Projekt gemeinsam mit dem Fraunhofer IFAM und dem Raumfahrttausrüster Airbus betrifft die Entwicklung einer Technologie zur Produktion von Sauerstoff und Metallen aus Regolith, dem Oberflächengestein des Mondes. Mit der Bewilligung einer Förderung in Höhe von mehr als 1 Mio. Euro durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) wird in den nächsten zwei Jahren ein Versuchsreaktor aufgebaut und umfangreich erprobt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sollen in die Vorbereitung eines Einsatzes der Technologie im Rahmen einer Mondmission einfließen. Dazu laufen bereits konkrete Gespräche mit der Europäischen Weltraumagentur ESA, die am amerikanischen Mondprogramm ARTEMIS beteiligt ist, das ab Mitte des Jahrzehnts wieder Menschen auf den Erdtrabanten bringen soll.

Aktuelle Arbeiten

„Das Verfahren entspricht einer Schmelzflusselektrolyse, wobei durch den Einsatz einer speziellen am Fraunhofer IFAM entwickelten durchlässigen Anode der hochreaktive Sauerstoff abgeleitet wird“, erklärt Prof. Dr. Alexandros Charitos, Leiter des Instituts für Nichteisenmetallurgie und Reinstoffe an der TU Bergakademie Freiberg. „Durch diese Besonderheit ist das Verfahren auch für die Gewinnung von bestimmten seltenen Metallen auf der Erde sehr attraktiv und könnte hier bisher übliche sehr aufwendige und emissionsintensive konventionelle Technologien ersetzen“, so Prof. Charitos weiter. Er und sein Team bringen umfangreiche Erfahrungen in der Auslegung metallurgischer Prozesstechnologien in das Vorhaben ein und untersuchen darüber hinaus bestehende Anwendungsperspektiven des ROXY-Verfahrens im Bereich der umweltgerechten Gewinnung kritischer Rohstoffe auf der Erde.

„Wir erwarten in den nächsten Jahren die Entwicklung eines wachsenden Geschäftsfeldes für die Rohstoffgewinnung im Weltall“, so Dr. Achim Seidel, Projektverantwortlicher seitens Airbus: „Mit ROXY kann Airbus seine Stellung als international führender Weltraumtechnologieanbieter weiter ausbauen.“

Der Start des innovativen Vorhabens erfolgte im September 2023. In den ersten zwölf Monaten der Projektlaufzeit ist der Aufbau des MiniROXY-Reaktors vorgesehen. Danach erfolgt bis Mai 2025 eine umfangreiche Test- und Erprobungskampagne, die verschiedene Szenarien späterer Anwendungen berücksichtigt und einerseits die technologischen Grenzen ausloten sowie andererseits Informationen zur Weiterentwicklung des Reaktors für den geplanten Einsatz auf dem Mond liefern soll.



ERDE



MOND



MARS

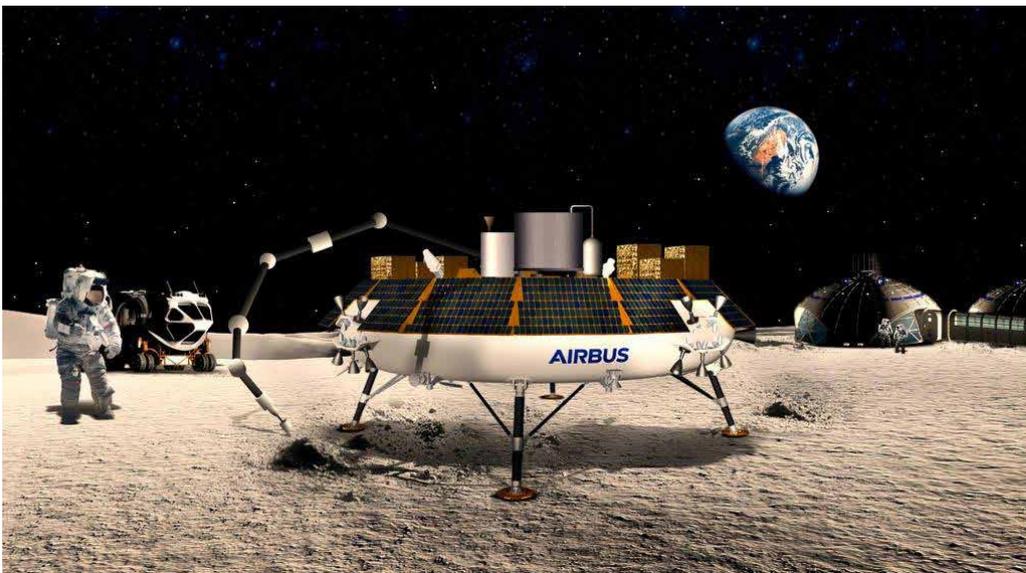
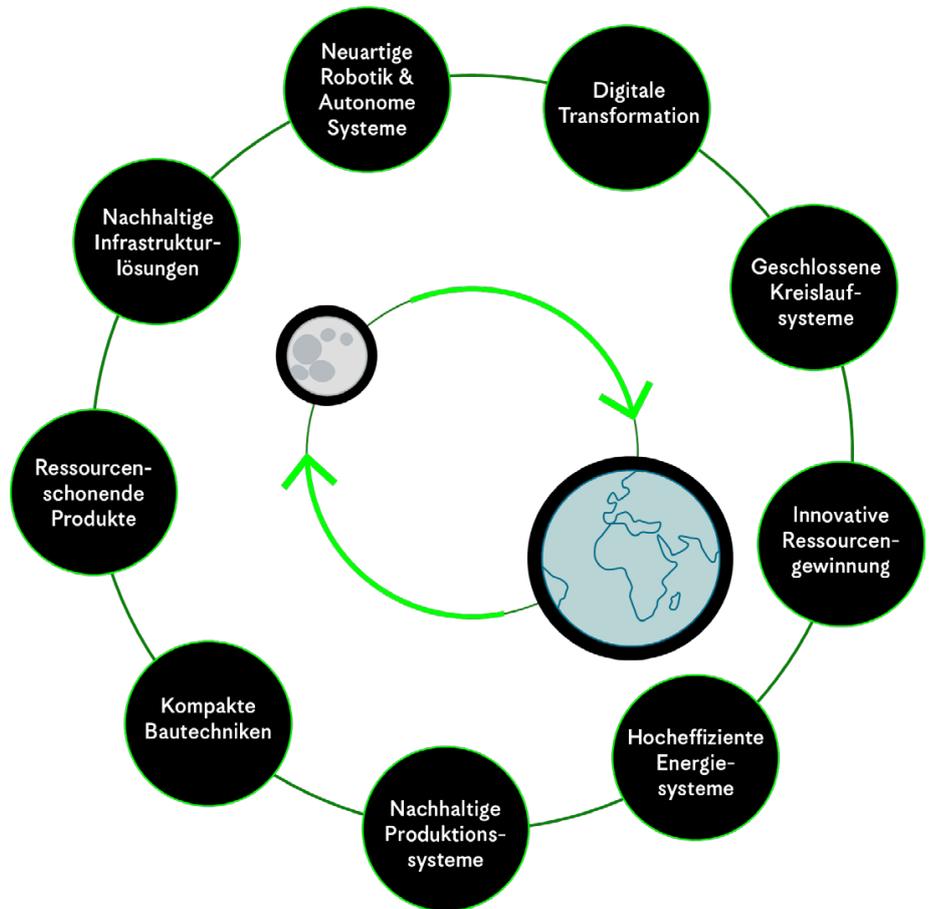
Durchmesser	12756 km	3476 km	6787 km
Fallbeschleunigung	1 g	0,17 g	0,38 g
Fluchtgeschwindigkeit	11,2 km/s	2,3 km/s	5,0 km/s
Rotationsperiode	23,9 h	27,3 d	24,7 h
Mittlere Oberflächentemperatur	+15 °C	-55 °C	-63 °C
Mittlerer Atmosphärendruck	1013 hPa	10 ⁻¹⁰ Pa	6 hPa
Atmosphärenzusammensetzung	78 % N ₂ , 21 % O ₂ , 1 % Ar	25 % He, 25 % Ne, 23 % H ₂ , 20 % Ar	95 % CO ₂ , 3 % N ₂ , 2 % Ar
Oberflächenzusammensetzung (ohne Sauerstoff)	28 % Si, 8 % Al, 6 % Fe, 4 % Ca, 2 % Na, 2 % Mg, 2 % K	21 % Si, 13 % Fe, 8 % Ca, 7 % Al, 6 % Mg, 1 % Ti	21 % Si, 12 % Fe, 4 % Mg, 4 % Ca, 4 % Al, 2 % Na, 1 % Ti

Umweltbedingungen auf Erde, Mond und Mars im Vergleich

Während sich die drei Himmelskörper in allen praktisch relevanten Umgebungsbedingungen deutlich unterscheiden, ist die Oberflächenzusammensetzung relativ ähnlich.

Innovations- und Transferpotentiale

Die Erforschung extraterrestrischer Ressourcentechnologien kann auf vielfältige Weise auch erdgebundene Anwendungen verbessern helfen.



Anwendungsszenario ROXY-Technologie

Die Grafik von Airbus zeigt einen hypothetischen Reaktor mit Greifarm zur Produktion von Sauerstoff und Metallen auf dem Mond.

Gleichzeitige Schichtdicken- und Schallgeschwindigkeitsbestimmung für die multifokale Ultraschallmikroskopie

Jun.-Prof. Dr.-Ing. Christian Kupsch
Apl. Prof. Dr. rer. nat. et. Ing. habil Elfgard Kühnicke
DFG-Transferprojekt 427525397

Zielstellung

In diesem Projekt soll erstmals ein hochauflösendes, mehrkanaliges, multifokales Ultraschallmikroskopiesystem im Frequenzbereich von 100 MHz bis ca. 250 MHz entwickelt werden. Dazu werden geeignete mehrkanalige Schallköpfe optimiert und aufgebaut, die für den Betrieb notwendige Elektronik entwickelt sowie Algorithmen für die komplexe Datenverarbeitung entworfen und implementiert.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden mehrere Themenschwerpunkte bearbeitet. Zum einen werden Mehrkanalwandler (*Annular Arrays*) mit asphärischen Linsen entwickelt, die für alle Elemente ein Schallbündel mit großer axialer aber geringer lateraler Ausdehnung aussenden, um von allen relevanten Grenzflächen auswertbare Echos zu erhalten.

Für die Ansteuerung der Arrays werden neue Pulser-Empfänger-Module konzipiert, die es erlauben, die einzelnen Elemente quasi-simultan, d.h. synchron, aber mit einer Verzögerung von wenigen Nanosekunden anzusteuern und so eine Fokussierung in der gewünschten Tiefe zu realisieren. Die empfangenen Signale müssen rauscharm verstärkt und digitalisiert werden.

Weiterhin wird eine Software entwickelt, die die auf den Einzelkanälen aufgezeichneten Signale am PC synthetisch fokussiert und in der interessierenden Tiefe geeignet visualisiert.

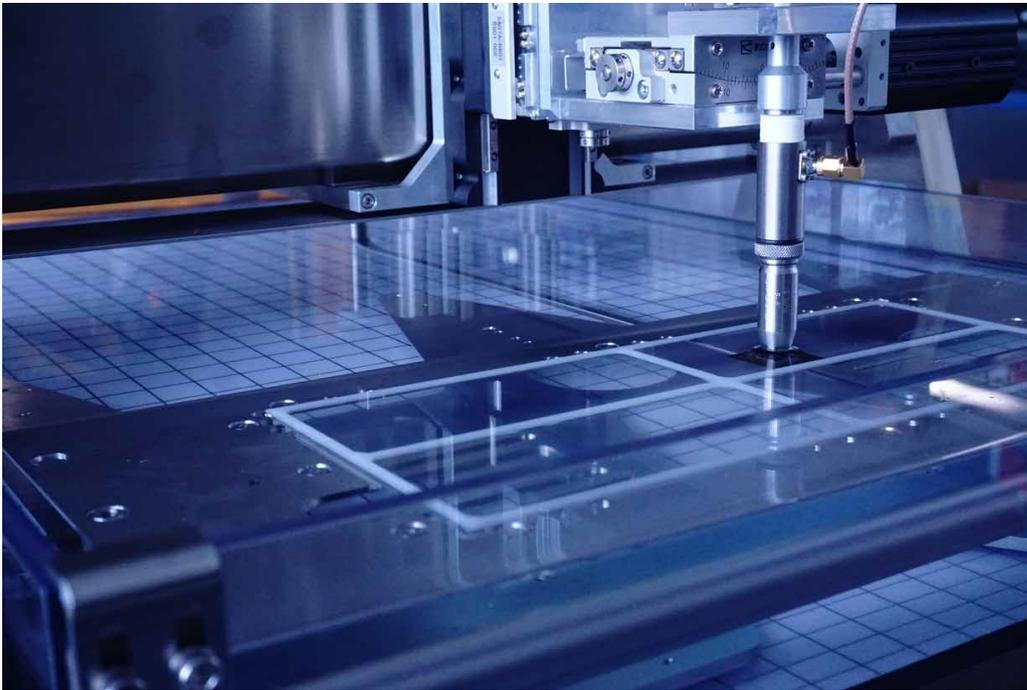
Als Ergebnis soll ein mehrkanaliges multifokales Ultraschallmikroskop zur Verfügung stehen. Damit können zum einen mehrschichtige elektronische Bauteile gleichzeitig in allen Tiefen mit hoher Auflösung geprüft werden. Zum anderen wird die Bestimmung von Materialparametern ermöglicht. Damit schafft das Projekt die Grundlage, um den stark wachsenden Anforderungen an die Bauteilprüfung insbesondere in sicherheitsrelevanten Bereichen wie der Leistungselektronik oder der Sensorik für das autonome Fahren gerecht zu werden.

Darüber hinaus eröffnen sich für zahlreiche weitere Disziplinen vielfältige Möglichkeiten. Das Verfahren kann beispielsweise zur Strukturaufklärung neuer Materialien genutzt werden. Außerdem kann durch die stark reduzierte Messzeit eine tiefenaufgelöste *In-situ*-Beobachtung biologischer Prozesse zu enormem Erkenntnisgewinn führen.

Aktuelle Arbeiten

Derzeit werden insbesondere Algorithmen zur synthetischen Schallfeldfokussierung implementiert und getestet. In Zusammenarbeit mit anderen Arbeitsgruppen des ZeHS werden Testmessungen an typischen Materialsystemen durchgeführt.

DFG Deutsche
Forschungsgemeinschaft



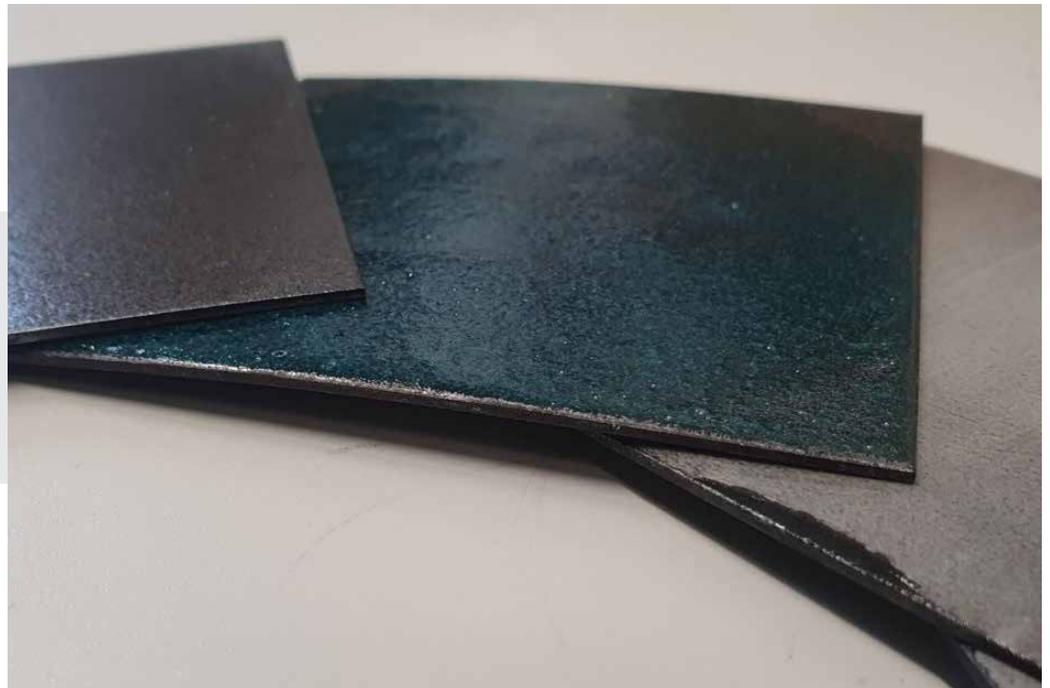
Ultraschallmikroskop

Probe im Wasserbad zur Untersuchung mit hochauflösender Ultraschallmikroskopie

LABORE NORD, RAUM I.309

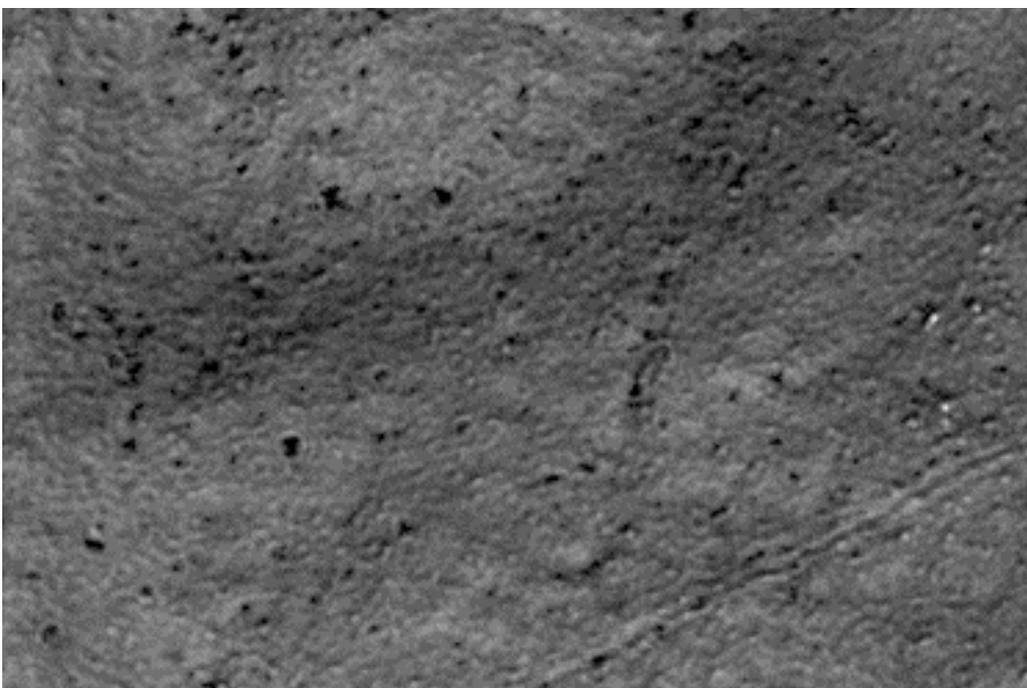
Strukturaufklärung von funktionalisierten Emailleschichten für Plasmaelektroden

Anwendungsbeispiel für die Ultraschallmikroskopie



Bildgebung mittels Ultraschallmikroskopie

Horizontaler Schnitt durch eine Emailleprobe in einer Tiefe von 200 μm , Messbereich $2 \times 2 \text{ mm}^2$



Kooperationslabor für Akustik

Prof. Dr.-Ing. Lutz Krüger, Jun.-Prof. Dr.-Ing. Christian Kupsch

Zielstellung

Das neue Kooperationslabor für Akustik im Zentrum für effiziente Hochtemperatur Stoffwandlung (ZeHS) an der TUBAF wurde im Juli 2024 eröffnet. Das hochmoderne Labor dient als zentraler Anlaufpunkt für akustische Messungen im Bereich der Material- und Bauteilcharakterisierung und ergänzt die bereits bestehenden Analysemethoden am ZeHS.

Mit dem neuen Labor erhält das ZeHS eines von zwei neuen Kooperationslaboren für wichtige Methoden der Materialanalytik. Das maßgeblich von Nachwuchsforschenden getragene Labor zur Ultraschalldiagnostik konnte bereits aktiv zur „Langen Nacht der Wissenschaft und Wirtschaft“ beitragen und Interessierte begeistern.

Unter der Leitung von Professor Lutz Krüger und Juniorprofessor Christian Kupsch ist das Kooperationslabor eine bedeutende Ressource sowohl für Unimitglieder als auch für externe Partner und Forschungseinrichtungen. Mit einem klaren Fokus auf akustische Messtechnik bietet das Labor spezialisierte Expertise und hochmoderne Technologie zur Untersuchung und Analyse unterschiedlichster Materialien und Bauteile. Die Expertisen des Labors umfassen geführte Wellen, zerstörungsfreie Prüfung (*Non-Destructive Testing*), Modellierung akustischer Wellen, Design von Wandlern, Signalverarbeitung sowie Anwendung von Methoden der Künstlichen Intelligenz zur Auswertung von Messdaten.

Aktuelle Arbeiten

Aktuell konzentrieren sich die Forschungsarbeiten im Gemeinschaftslabor auf folgende Themenbereiche:

Geführte Wellen (Prof. Krüger): Für das IWT widmet sich gegenwärtig Johannes Kirchgässner der sogenannten Lamb-Wellenausbreitung in Platten-ähnlichen Strukturen für die Schädigungsferndiagnose großflächiger Bauteile. Ein Schwerpunkt seiner Arbeit liegt auf der Triangulation von konstruktiv interferierenden Kantenreflexionen für die Schadstellenlokalisierung aus großer Entfernung. Vom Partner Polytec GmbH wird hierfür ein 3D-Vibrometer-Messsystem bereitgestellt, das die Wellenfeld-Ausbreitung sichtbar macht und eine Wellenpfad-Rückverfolgung erlaubt. Die Studien dienen der Basis-Charakterisierung für den später Hochtemperatur-beanspruchten Werkstoffzustand.

Ultraschallmikroskopie (Prof. Kupsch): Mit der Ultraschallmikroskopie können Materialien und Bauteile dreidimensional mit Auflösungen im Mikrometerbereich untersucht werden. Dazu wird hochfrequenter Ultraschall (50 MHz bis 1,5 GHz) genutzt. Die Ultraschallmikroskopie findet insbesondere Anwendung zur Untersuchung von Halbleitern und mikroelektronischen Systemen, wird aber auch zur Strukturaufklärung von Materialien und Materialsystemen genutzt.

Das neue Kooperationslabor für Akustik an der TUBAF bietet somit eine herausragende Plattform für innovative Forschung und Entwicklung und stärkt die Position der Universität als führende Institution in den Material- und Werkstoffwissenschaften, insbesondere im Bereich der Charakterisierung.



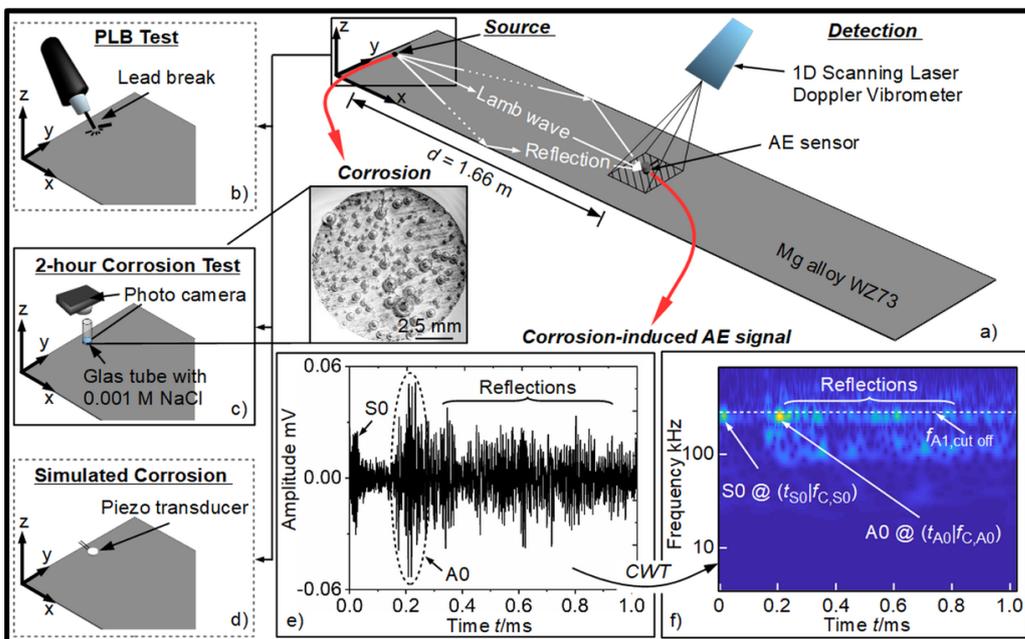
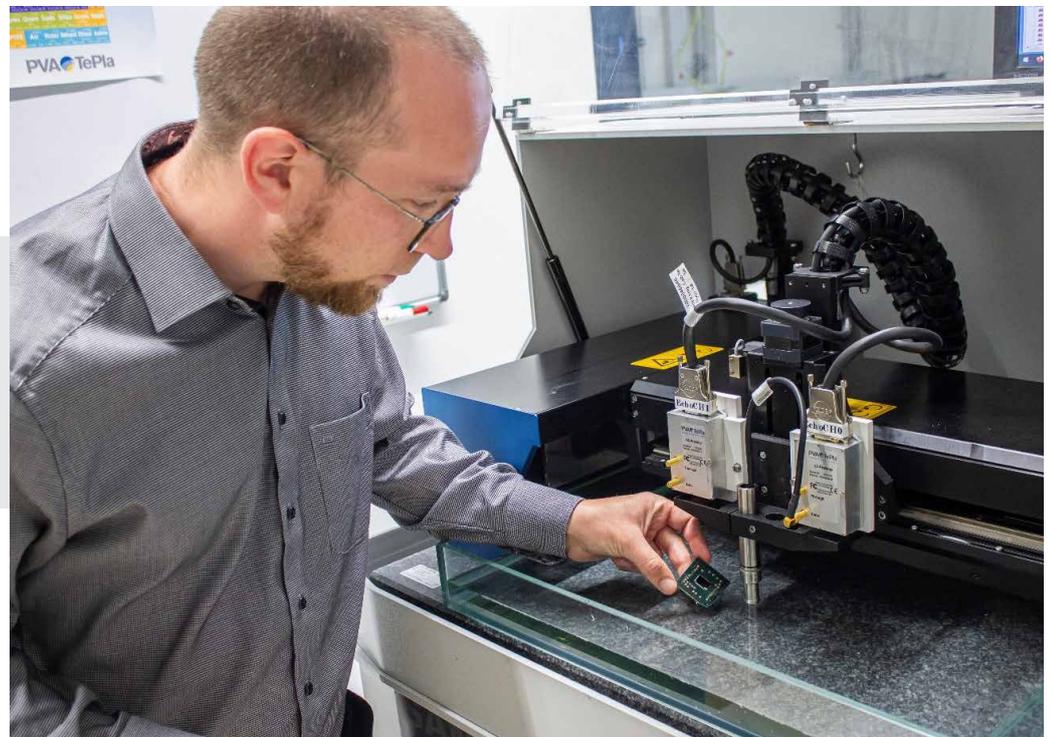
3D-Vibrometer-Analyse einer Stahlplatte

v. l. n. r.: Dr. Marcel Mandel (IWT), Dipl.-Ing. Marco Fritzsche (Polytec GmbH) und Johannes Kirchgässner (Stipendiat)

LABORE SÜD, RAUM I.219

Ultraschallmikroskopie

Jun.-Prof. Christian Kupsch bei der Untersuchung eines mikroelektronischen Systems mittels Ultraschallmikroskopie.



Schallemissionsanalyse für die In-situ-Überwachung korrosiv beanspruchter Bauteile

Studie zur Fernlokalisierung elektrochemischer Korrosion mittels Lamb-Wellen-Analyse

Kostengünstiges Temperaturmonitoring mit Hilfe von Nichtgleichgewichtssystemen

Prof. Dr. Felix A. Plamper
DFG-Projekt PL 571/5-1

Zielstellung

Die Wahrung einer sachgemäßen Lagerung von sensiblen Proben/Materialien in einem idealen Temperaturbereich ist auch im Hinblick auf den Klimawandel eine wichtige Herausforderung für Industrie und Logistik. Bestimmte Proben können nach Über- oder Unterschreiten einer bestimmten kritischen Temperatur nicht mehr ihre vorgesehene Funktion erfüllen und können dadurch einen irreparablen Schaden, der oft nicht auf dem ersten Blick sichtbar ist, erleiden.

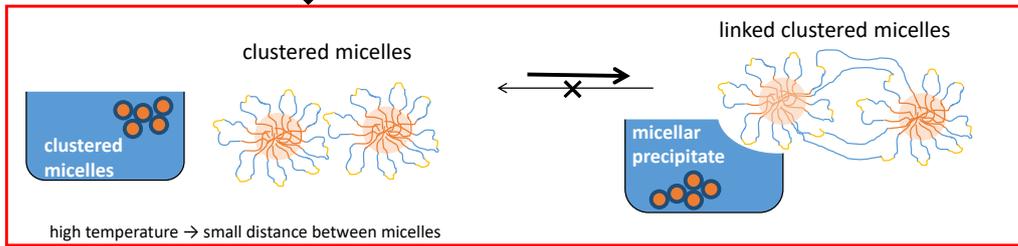
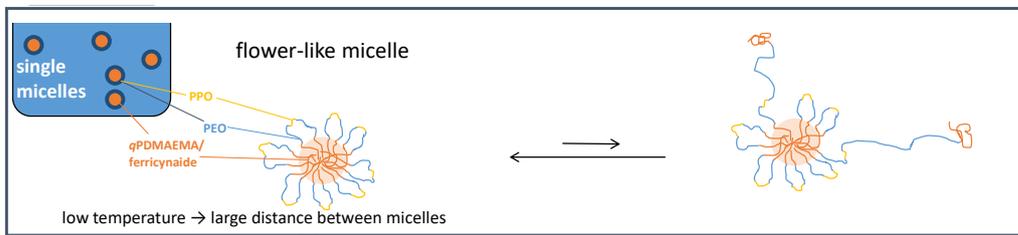
Um eine ordnungsgemäße Lagerung und damit eine gleichbleibende Qualität bis zum Kunden dokumentieren zu können, muss die Temperatur des Produkts überwacht werden. Dies kann durch eine elektronische Temperaturüberwachung geschehen, wobei der Temperaturverlauf aufgezeichnet und gespeichert werden muss. Dafür ist auch eine Energieversorgung notwendig. Das Ziel unserer Arbeiten war die Entwicklung eines kostengünstigen Sensors, der Spitzen in der Temperaturhistorie ohne zusätzliche Energieversorgung möglichst fälschungssicher dokumentieren soll.

DFG Deutsche
Forschungsgemeinschaft

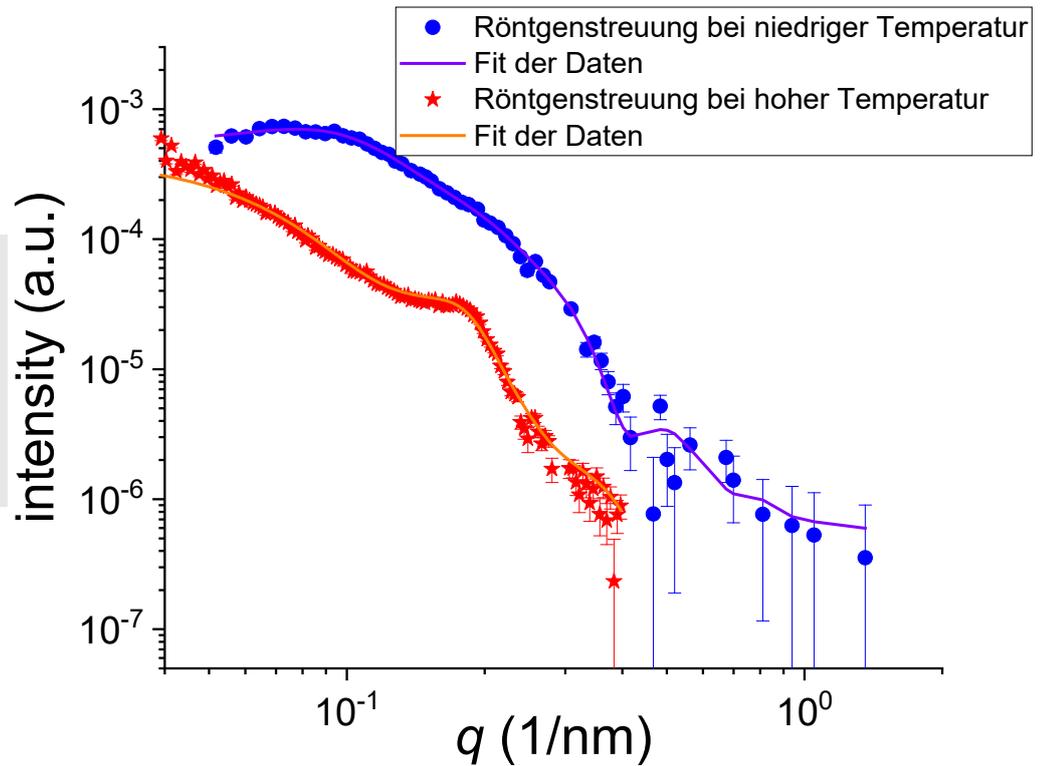
Aktuelle Arbeiten

Zur Realisierung des Ziels wurden thermosensitive Polymere verwendet, die ihre Lösungseigenschaften in Abhängigkeit der Temperatur ändern. Dies kann dazu dienen, dass in der Hitze Aggregate gebildet werden, die sich in der Kälte wieder auflösen. Werden zusätzliche permanent unlösliche Komponenten in Form von Blockcopolymeren eingeführt, entstehen sogenannte Mizellen, in deren Kern der unlösliche Block eingelagert ist. Dieser Kern ist durch eine lösliche Korona stabilisiert, solange die Korona nicht selbst bei hoher Temperatur eine Löslichkeitsänderung aufgrund ihrer Thermosensitivität durchläuft. Dann würde es zu einer Aggregation der Mizellen kommen, die solange in der Kälte reversibel rückgängig gemacht werden kann, wie nicht durch Verbrückung und Austausch der Kerndomänen die Mizellen durch einen weiteren Mechanismus „verklebt“ werden.

Dieser Mechanismus konnte auf Basis von modifizierten PluronicTM-Polymeren (aus Polyethylenoxid und Polypropylenoxid) realisiert werden: Bei Überschreiten einer kritischen Temperatur entsteht eine trübe Lösung, die sich nicht mehr auflöst, selbst nach langer Lagerung in der Kälte. Damit kann die Temperaturhistorie verfolgt werden. Durch Bildung eines Hybrids mit Berliner Blau kann zudem das Monitoring der Probenhistorie in ein Monitoring der aktuellen Temperatur umgeschaltet werden. Damit handelt es sich um ein smartes Nichtgleichgewichtssystem, das verlässlich Temperaturspitzen in der Vergangenheit (und Gegenwart) erkennen kann.



Mechanismus der irreversiblen Zusammenlagerung bei Überschreiten einer kritischen Temperatur



Strukturelle Unterschiede vor und nach Überschreiten der kritischen Temperatur

Messung der temperaturabhängigen Röntgenkleinwinkelstreuung



Röntgenkleinwinkelstreuanlage mit Hochtemperaturkammer

Charakterisierung der temperaturabhängigen Umwandlung im nanoskopischen Größenbereich

LABORE NORD, RAUM I.320

MiFoCo-bio: Gemischbildung und Verbrennung von Alkoholen und anderer biogener Kraftstoffe in mischungskontrollierten Brennverfahren

Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas S. Bräuer
FNR-Projekt 2220NR02IA

Zielstellung

Das FNR-Projekt MiFoCo-bio wurde als Folgeprojekt zur weiteren Untersuchung der Gemischbildung und Verbrennung von Alkoholen und anderer biogener Kraftstoffe in mischungskontrollierten Brennverfahren ins Leben gerufen.

Biogene und synthetisch hergestellte Kraftstoffe besitzen ein hohes Potenzial zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes. Während *Hydro-genated Vegetable Oil* (HVO) oder Polyoxymethylenether (OME) als vollwertige Kraftstoffe mineralölbasierten Diesel ersetzen können, sind Alkohole vor allem als „Drop-in“-Kraftstoffe von Interesse. Aufgrund des nur geringen Potenzials einer möglichen Einführung elektrischer Antriebe im Schwerlastbereich (Lastverkehr, Landwirtschaft, Schifffahrt oder Bergbau), ist die Weiterentwicklung von Dieselmotoren vor allem im Interesse der heimischen Industrie.



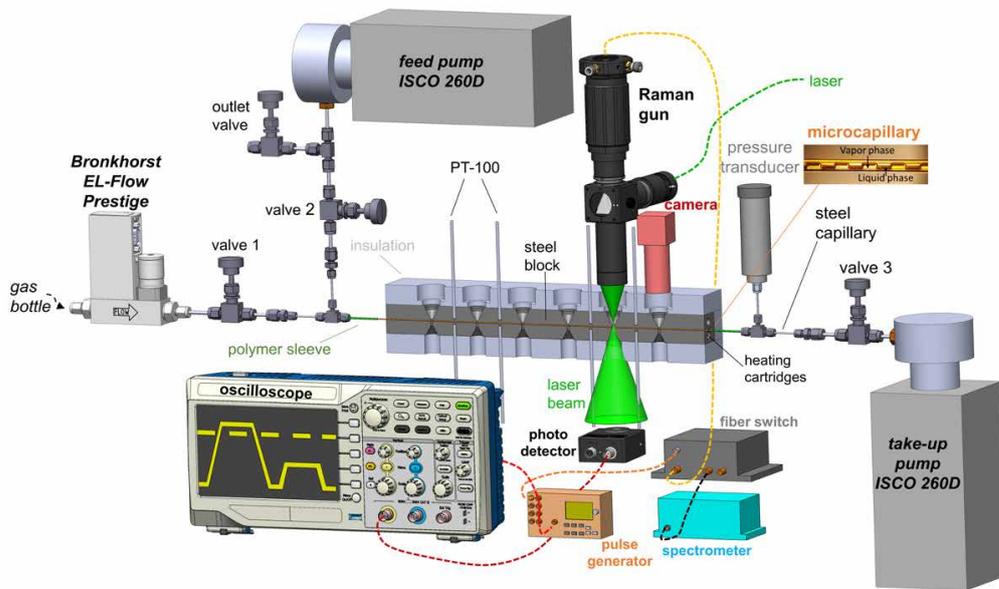
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Aktuelle Arbeiten

Neben anderen universitären (STFS der TU Darmstadt, Lehrstuhl für nachhaltige mobile Antriebssysteme der TU München, LTT der FAU Erlangen-Nürnberg) und industriellen Projektteilnehmern (MTU, Woodward L'Orange), leistet das Institut für Thermische Verfahrenstechnik, Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik der TU Bergakademie Freiberg hierzu einen wichtigen Beitrag, in Form der Ermittlung thermodynamischer Stoffdaten der genannten Kraftstoffe, sowie von Kraftstoff/Luft-Gemischen.

Für diese Untersuchungen wird ein Mikrokapillar-Versuchsaufbau eingesetzt. Eine darin befindliche Fused-silica-Mikrokapillare erlaubt Untersuchungen bei hohem Druck von bis zu 30 MPa und hoher Temperatur von bis zu 400 °C. Weiterhin besteht optische Zugänglichkeit für *In-situ*-Raman-Spektroskopie sowie für andere kameraoptische Untersuchungen. Ergebnisse, die hieraus resultierten und in internationalen Fachzeitschriften Einzug fanden, sind beispielsweise Dampfdrücke von OME_n-Kraftstoffen sowie Dampf/Flüssigkeit-Gleichgewichtsdaten (beispielsweise der Gemische 1-Octanol/N₂ oder 1-Octanol/O₂).

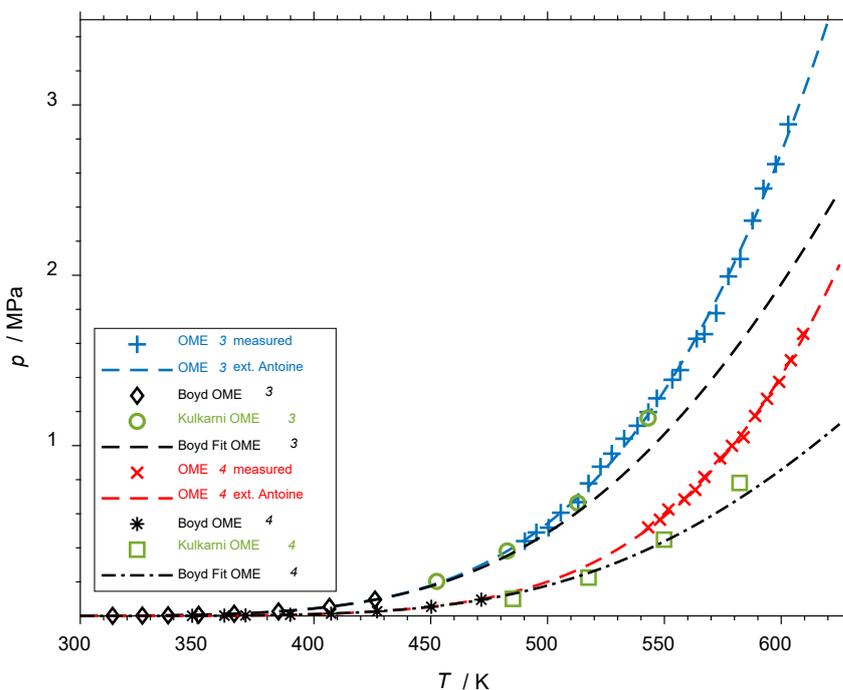
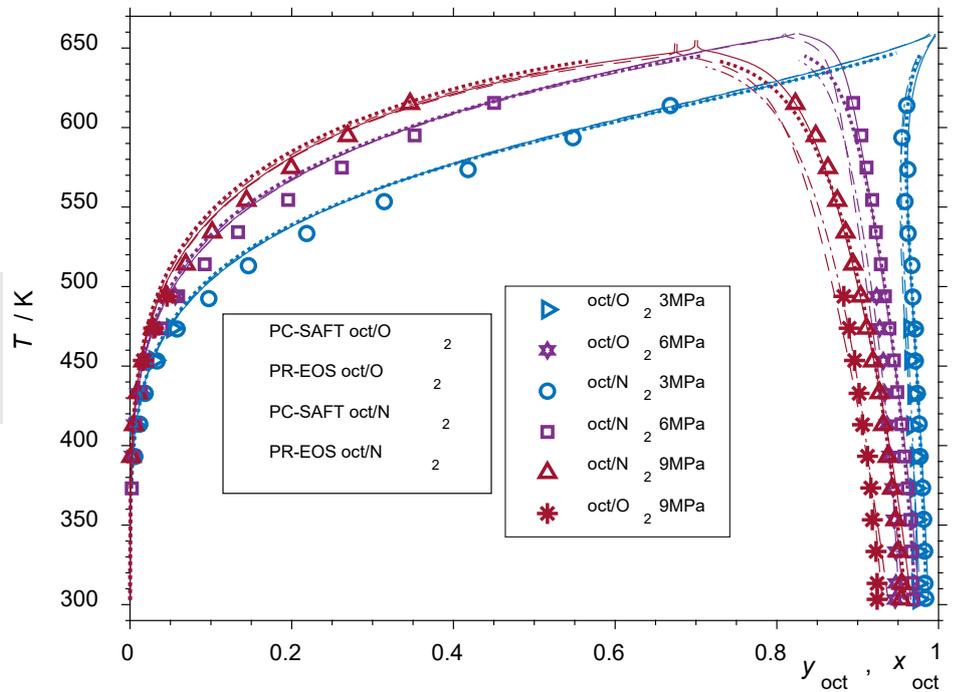
Das ITUN arbeitet zudem an der Weiterentwicklung des Versuchsaufbaus zur Ermittlung von gesättigten Dampfphasen- und Flüssigphasendichten. Erste vielversprechende Versuche wurden bereits abgeschlossen und die Beantragung eines Projekts wird angestrebt.



Mikrokapillar-Versuchsaufbau zur Untersuchung der Eigenschaften von regenerativen Kraftstoffen und Kraftstoff/Luft-Gemischen

LABORE SÜD, RAUM EG.223

VLE-Daten der Gemische I-Octanol/ N_2 und I-Octanol/ O_2



Dampfdrücke von OME₃ und OME₄

NaWaHiTecMat – Umwandlung nachwachsender Rohstoffe zu Hochleistungsmaterialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften

Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas S. Bräuer

Zielstellung

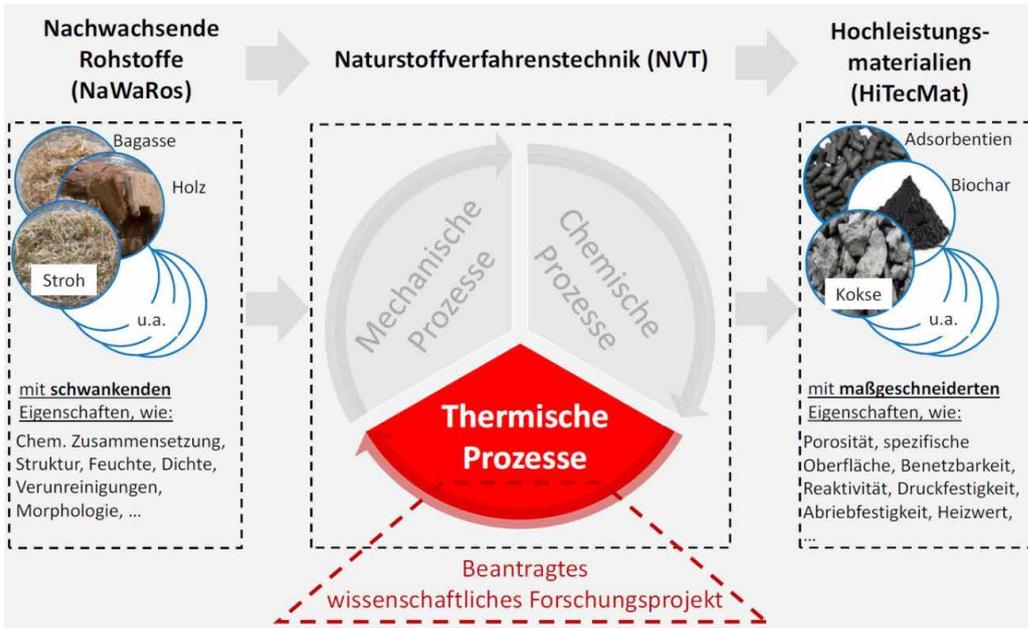
Das Forschungsprojekt „Umwandlung nachwachsender Rohstoffe zu Hochleistungsmaterialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften – NaWaHiTecMat“ verfolgt das Ziel, ein grundlegendes Verständnis dafür zu entwickeln, wie und warum sich nachwachsende Rohstoffe bzw. Agrarreststoffe mit variierenden Eigenschaften und Zusammensetzungen mittels Thermolyse in Hochleistungsmaterialien mit maßgeschneiderten Eigenschaften umwandeln lassen. Diese aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten Hochleistungsmaterialien sollen künftig Materialien ersetzen, die aktuell noch aus fossilen Rohstoffen wie Kohle erzeugt werden.

Dabei soll ein neuartiger und in der Adaption einzigartiger Thermolyseofen im Pilotmaßstab in Betrieb genommen werden, welcher das apparative Fundament für die Verständnisbildung der komplexen Zusammenhänge bei der gezielten thermischen Umwandlung von nachwachsenden Rohstoffen in Hochleistungsmaterialien darstellt. Es sollen diverse *In-situ*- und Echtzeit-Messtechniken zum Einsatz kommen, welche Untersuchungen des Feststoffes und der entbundenen Komponenten (Gase, Teere/Öle, Schwelwasser) während des gesamten Prozesses erlauben.

Aktuelle Arbeiten

In Vorbereitung auf die zukünftigen Untersuchungen wurde in einem ersten Schritt ein bestehender Thermolyseofen mit optischem Zugang im Labormaßstab modifiziert und so umgebaut, dass Tests zum Schrumpfungsverhalten eines agglomerierten Agrarreststoffs durchgeführt werden konnten. Dabei wurden während des Versuchs in regelmäßigen Abständen durch den optischen Zugang Bilder sowie kontinuierlich der Masseverlust aufgenommen. Aktuell können Versuche mit Aufheizraten bis zu 20 K/min und Endtemperaturen bis 1000 °C durchgeführt werden.

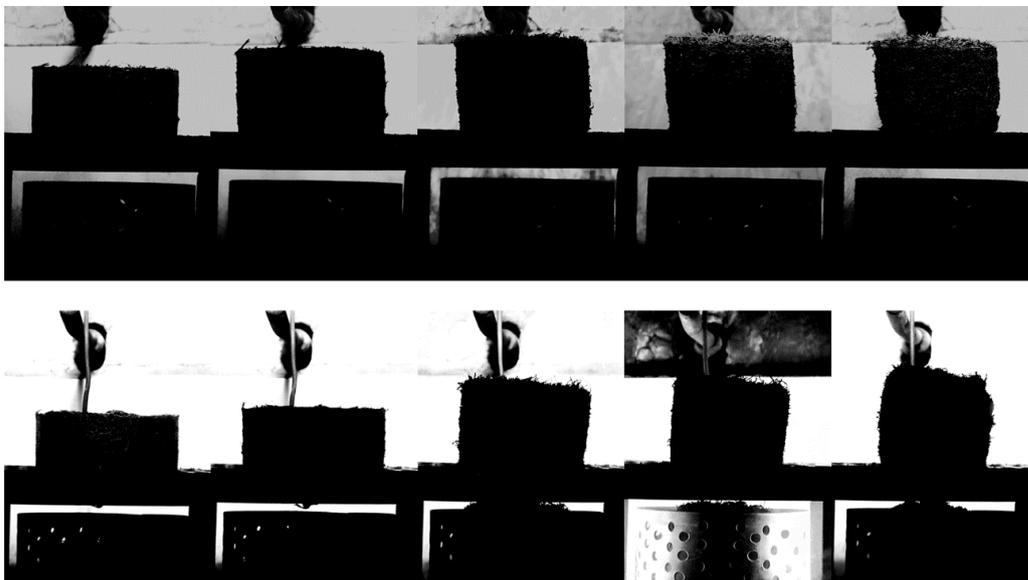
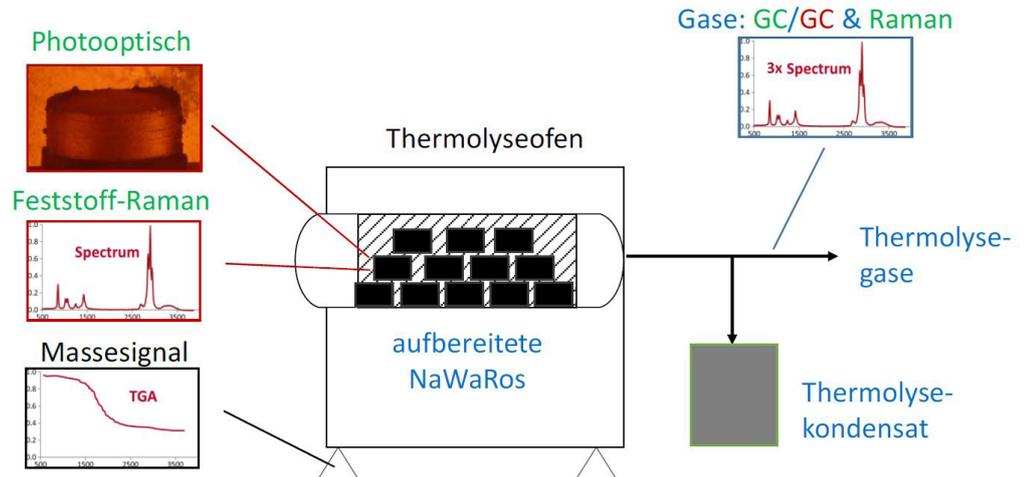
Der neue Thermolyseofen, der Ende 2023 zur Verfügung stehen soll, bietet eine Reihe von Vorteilen: Durch das nutzbare Volumen von 50 l in der Retorte können repräsentative Probemengen an Hochleistungsmaterialien bei Temperaturen von bis zu 1100 °C in Inertgas- oder reaktiver Atmosphäre hergestellt werden. Außerdem erlaubt die deutlich erweiterte Analytik ein umfassenderes Bild im Hinblick auf die stattfindenden Thermolyseprozesse.



Einordnung des Projektes in das übergeordnete Forschungskonzept

Schematische Darstellung der apparativen Umsetzung des neuen Thermolyseofens

Thermolyseofen mit *In-situ*- und Echtzeit-Messtechnik (Ramanspektroskopie, Wägung mittels Wägezelle, photooptischer Zugang)



Beispielhafte Nachverfolgung der Thermolyseversuche

Ausgewählte Auswertungsgröße
Durchmesser, photooptische Auswertung bei unterschiedlichen Temperaturraten

PNC-Control – Plasma-Nitrocarburieren mit einer Kohlenstoff-Feststoffquelle und Prozessregelung

**Dr.-Ing. Anke Dalke, Dr.-Ing. Saeed Jafarpour,
Prof. Dr.-Ing. habil. H. Biermann**
BMBF-Verbundprojekt VIP+ 03VP05501

Zielstellung

Das Verbundprojekt „PNC-Control“ wurde gemeinsam vom Institut für Werkstofftechnik der TUBAF und dem Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. Greifswald (INP) im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Validierung des technologischen und gesellschaftlichen Innovationspotenzials wissenschaftlicher Forschung – VIP+“ im Zeitraum von März 2019 bis August 2022 bearbeitet.

Die plasmagestützte thermochemische Randschichtbehandlung stellt eine grundlegende Technologie der modernen Werkstoff- und Fertigungsindustrie zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften von Stählen hinsichtlich der Verschleiß- und/oder Korrosionsbeanspruchung durch das Eindiffundieren von Stickstoff und Kohlenstoff in die Randschicht dar. Ziel des Projekts PNC-Control war es, eine neue plasmagestützte Technologie zum Nitrocarburieren chromhaltiger Stähle zu etablieren, die in der Lage ist, neuartige, definiert einstellbare chemische Gradienten innerhalb der Randschicht zu erzeugen und auch die Behandlung von Schüttgut erlaubt.



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Aktuelle Arbeiten

Bei dem Verfahren werden durch eine sich im Behandlungsraum der zu behandelnden Proben befindliche und mittels Plasma angeregte Kohlenstoff-Feststoffquelle reaktive Gase *in situ* erzeugt, die neben der Verbesserung des Nitrocarburierprozesses auch eine Aktivierung selbstpassivierender Stahloberflächen hervorrufen. Eine prozessbegleitende gas- und plasmadiagnostische *In-situ*-Analytik sollte als Basis einer erstmalig in einem plasmagestützten thermochemischen Prozess implementierten Regelung dienen. Damit ermöglicht die PNC-Control-Technologie eine enorme Erweiterung der bestehenden Prozessgrenzen von Plasmanitrocarburier-Verfahren.

Das PNC-Control-Projekt gliederte sich in drei Arbeitspakete:

- (1) Entwicklung der Hauptmodule des Demonstrators und vorbereitende Arbeiten,
- (2) Kombination der Module zum Gesamtsystem und Durchführung von Testreihen zum Design der Kohlenstoff-Feststoffquelle,
- (3) Durchführung von Testreihen zur Validierung der Effizienz der PNC-Control-Technologie sowie Entwicklung der Prozessregelung.

Das Projekt wurde in synergetischer Weise von Physikern, Ingenieuren (Werkstofftechnik, Elektrotechnik) und Technikern erfolgreich bearbeitet.



Laserspektroskopische Plasmadiagnostik an der Plasmanitrier-Anlage

Regelbare Plasma-Technologie für
neuartige Oberflächeneigenschaften
von Stahl

HALLE B, BEREICH 9

Visualisierung mit Qmacs LAS-Sensorsystem

Versuchsbegleitende Spektren-
analyse zur Quantifizierung reaktiver
Gasspezies

HALLE B, BEREICH 9



Nitrieren von Stahlproben im N_2-H_2 -Plasma

Blick in den Reaktor

HALLE B, BEREICH 9

ProBaSol – Die Aluminiumbatterie: Herausforderungen für die industrielle Fertigung

Prof. Dr. Dirk C. Meyer
BMWK-Verbundprojekt 03EI3014A

Zielstellung

Das BMWi-Verbundprojekt „Die Aluminiumbatterie: Herausforderungen für die industrielle Fertigung – ProBaSol“ verfolgt das Ziel der Implementierung einer neuartigen Technologie zur Fertigung elektrochemischer Energiespeicher als Alternative zu Li-basierten Batteriesystemen. Schwerpunktmäßig wird auf eine Festkörperbatterie für mobile hochvalente Ionen sowie die dazugehörige Fertigungstechnologie für Festkörperelektrolyte und Elektroden gesetzt. Wesentliche Vorteile sind die erzielbaren Energiedichten, die hohe Sicherheit, die umfassende Verfügbarkeit der Materialien sowie die Recyclierbarkeit der Systeme.

Im Ergebnis soll neben einer detaillierten Komponente-Eigenschaft-Matrix sowie Zellstudien, ein Prototyp in Einsatzumgebung als Voraussetzung für die industrielle Fertigung vorliegen. Die volumetrische Energiedichte kann potentiell doppelt bis viermal so hohe Werte im Vergleich zu kommerziellen Li-Ionen-Batterien erreichen. Zudem ist ein Kostensenkungspotential von bis zu 20 % bezogen auf den Preis pro kWh gegeben. Das Erreichen der Ziele soll durch begleitendes Technologiemanagement und Systemanalyse unterstützt werden.



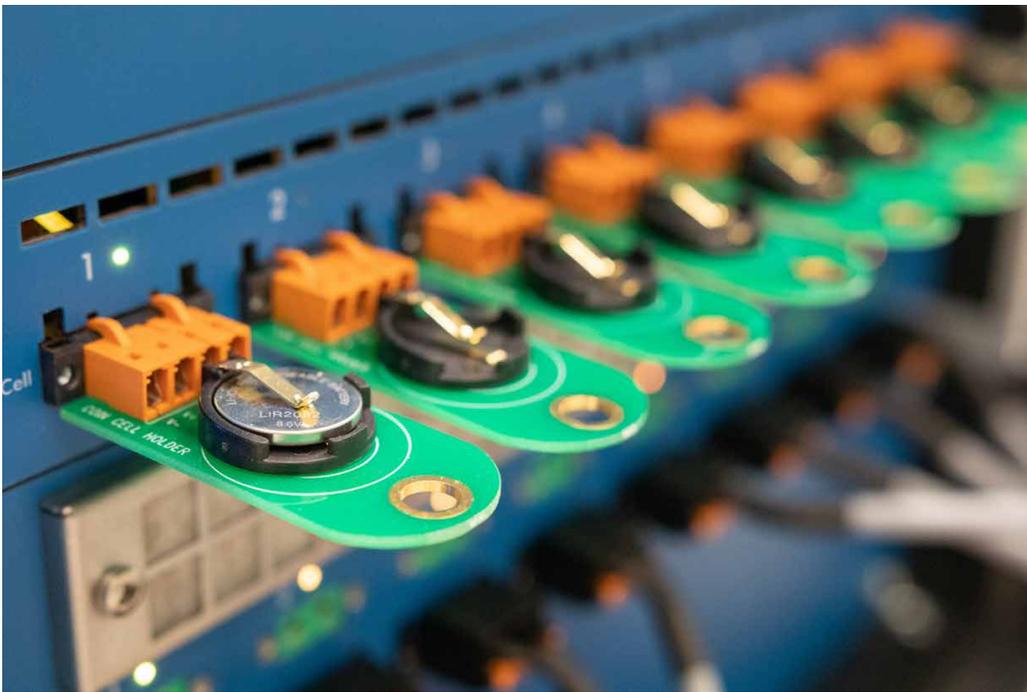
**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz**

Aktuelle Arbeiten

Die Arbeiten wurden planmäßig im Januar 2020 aufgenommen, wobei das Vorläuferprojekt R2R-Battery eine ideale Katalysesituation bot. Projektpartner des IEP sind die ROVAK GmbH, das Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik (FEP) sowie das Forschungsinstitut für Leder und Kunststoffbahnen (FILK).

Aluminium hat für den Einsatz in Batterien einige Vorteile. Es besitzt von allen Elementen die größte volumetrische Kapazität, wenn man von Al^{3+} ausgeht. Weitere Vorteile sind die gute Ressourcenverfügbarkeit und der niedrige Preis. Nach dem Stand der Forschung dient direkt Aluminium als Anode und Graphit fungiert als Kathode der Batterie. Übliche Elektrolyte sind $[EMIm]Cl/AlCl_3$ oder andere ionische Flüssigkeiten, in denen sich Chloraluminat-Komplexe als Ladungsträger bewegen. Aluminiumbatterien mit einem flüssigen Elektrolyten haben aber auch einen gravierenden Nachteil: Die aktiven Ionen $AlCl_4^-$ und $Al_2Cl_7^-$ sind stark korrosiv, sogar gegenüber Edelstahl. Um dieses Problem zu lösen, wurde am Institut für Experimentelle Physik ein Polymer-Gel-Elektrolyt aus der ionischen Flüssigkeit $Et_3NHCl/AlCl_3$, Polyamid und $AlCl_3$ entwickelt. Er bietet die folgenden Vorteile:

- Wegfall des Separators zwischen der positiven und negativen Elektrode,
- Bessere Beständigkeit gegen Feuchtigkeit und Sauerstoff,
- Verringerung des Risikos, dass Elektrolyt aus dem Gehäuse ausläuft,
- Geringere Korrosion von Batteriegehäuse und Stromableitern,
- Vereinfachter Aufbau der Batteriezelle und kostengünstigere Herstellung.



Mehrkanal-Batterieteststand mit Knopfzellen

Untersuchung der Batteriezellen im Lade-Entlade-Versuch und per Impedanzspektroskopie

Anlage für die Fertigung von Batteriekomponenten unter Vakuumbedingungen

Beschichtung per Magnetron-Sputtern und Kurzzeittempern per Blitzlampe

LABORE SÜD, RAUM EG.225



Glovebox für die Assemblierung von Knopf- und Pouchzellen unter Schutzgasatmosphäre

Argon mit Restanteil von O_2 und H_2O unter 1 ppm

LABORE NORD, RAUM I.301



SappCU – Self adjusting plasma process control unit

Dr.-Ing. Anke Dalke, Prof. Dr.-Ing. habil. H. Biermann
 ZIM-Kooperationsprojekt KK5027704BR2 – Netzwerk IraSME

Zielstellung

Das Verbundprojekt „SappCU“ ist Teil der internationalen Förderung IraSME (*International research activities by small and medium-sized enterprises*). Es wird vom Institut für Werkstofftechnik der TUBAF in Kooperation mit der Firma Neoplas control GMBH, Greifswald/Deutschland sowie der Firma KSL Automation S.A.R.L., Ettelsbrück/Luxemburg, im Zeitraum von Februar 2023 bis Juli 2025 bearbeitet.

Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines innovativen Automatisierungskonzepts, das die Verknüpfung von plasmaaktivierter Gaszusammensetzung innerhalb des Plasmaprozesses mit der Modifikation des Werkstoffes für eine autarke Prozessregelung realisiert. Für unterschiedlich reaktive Gaszusammensetzungen und resultierende Materialreaktionen werden Material-Daten-Setpoints definiert. Ein zu entwickelndes, selbstjustierendes Laserabsorptionsspektrometer ermittelt *in situ* die Art und Konzentrationen reaktiver Spezies im Prozessgas, wobei die LAS-Daten als Eingangsgröße in die Prozessregelung einfließen. Auf Basis von Regelungsalgorithmen wird erstmals eine selbstregulierende Regelung am Beispiel eines industriell eingesetzten Plasmanitrocarburier-Prozesses etabliert.

Aktuelle Arbeiten

Im Teilprojekt „PlasMat – Plasmaprozesstechnologie, Spezies-Konzentrations-Korrelation, Materialanalyse“ werden die Plasmabehandlungen mit gleichzeitiger Aufnahme von LAS-Spektren durchgeführt, die resultierenden Randeigenschaften der Werkstoffe evaluiert sowie die jeweiligen Spezieskonzentrationen mittels Spektralanalyse bestimmt.

In Phase I werden im Rahmen von Materialbehandlungen Prozesstechnologien im Hinblick auf die Erzeugung einer in weiten Grenzen variierenden, reaktiven Prozessgaszusammensetzung u. a. durch die Anwendung unterschiedlicher Prozess-Modi, z. B. konventionelles Plasmanitrieren bzw. Aktivgitter-Plasmanitrieren, unterschiedlicher Kohlenstoff-Präkursoren sowie variierender Plasmaprozessparameter entwickelt, durchgeführt und deren Auswirkungen auf die Oberflächenmodifizierung metallischer Werkstoffe hin analysiert. Als quantitativ erfassbare Zielgrößen der Material-Reaktion werden Härte-Tiefe-Verläufe innerhalb der Randschicht und die erreichbare Randhärte ermittelt. Jeweils prozessbegleitend werden die Prozessgaszusammensetzung mit einem Laserspektrometer erfasst und die ermittelten Konzentrationen für den Stoffübergang relevanter Gasspezies (HCN, C₂H₂) *ex situ* mit den Ergebnissen der jeweiligen Material-Reaktion korreliert.



**Bundesministerium
 für Wirtschaft
 und Klimaschutz**



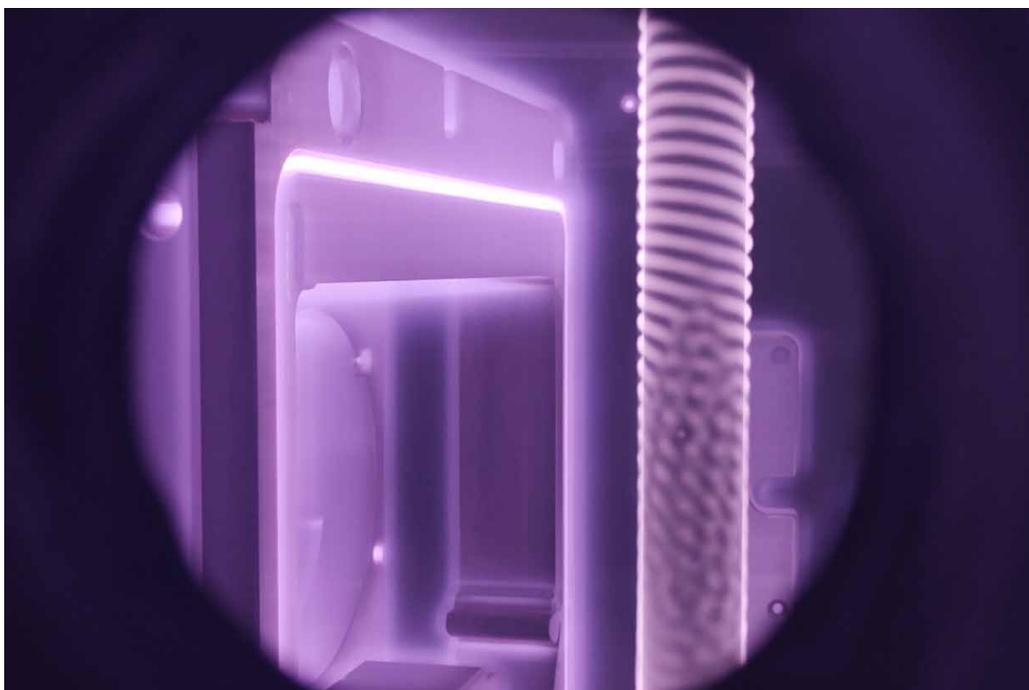
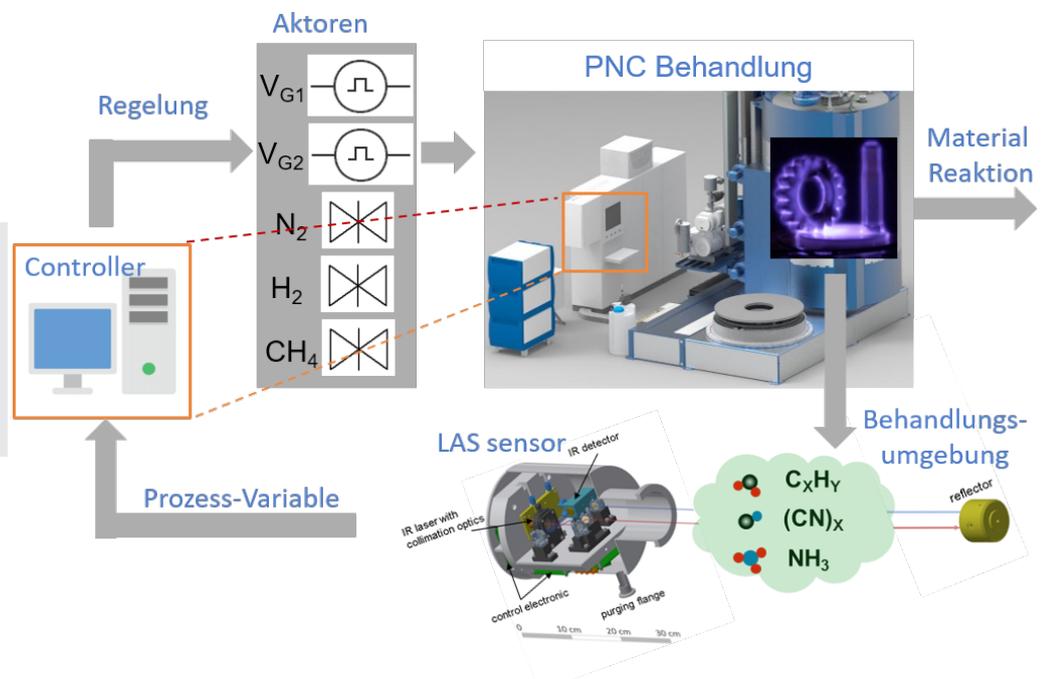
Aktivgitter-Plasmanitrier-Anlage

Forschungsanlage zum Aktivgitter-Plasmanitrieren mit optischen Zugängen für Laserdiagnostik und Gasanalytik

HALLE B, BEREICH 9

Regelungskonzept für PNC-Prozesse

Konzept zur Regelung mit Einbindung laseroptischer Messungen



Plasmasaum an Bauteilen

Industrielle Plasmasaumbehandlung (Firma Plasmanitriertechnik Dr. Böhm, Chemnitz)

Stromeinkopplung in Hochtemperaturprozesse mittels Lichtbogenplasma

Prof. Dr.-Ing. Martin Gräbner
BMWK-Projekt 03EE5086

Zielstellung

Einer der Schwerpunkte bei der Umsetzung des e^-CH_2T -Forschungskonzepts an der Professur für Energieverfahrenstechnik betrifft die Nutzung eines 65 kW-Lichtbogenplasmas für die Einkopplung von elektrischem Strom in energieintensive Hochtemperaturprozesse. Der hohe Energiegehalt und die katalytische Wirkung des angeregten Plasmazustands ermöglicht die Verwertung auch von problematischen, schadstoffbelasteten, energiearmen Abfällen, wie z. B. Haushaltsabfällen, Verbundmaterialien oder Klärschlamm, ohne CO_2 zu emittieren. Ein Großteil dieser Abfälle wird aktuell noch der Verbrennung zugeführt, wobei der enthaltene Kohlenstoff nahezu vollständig als CO_2 freigesetzt wird (lineare Wirtschaft).

Plasmagestützte Verfahren unterstützen den Übergang von der heute dominierenden linearen Wirtschaft zur klimafreundlichen und ressourcenschonenden Kreislaufwirtschaft. Gemeinsam mit Akteuren der Abfallwirtschaft, chemischen Industrie und Energiewirtschaft arbeiten wir im Rahmen von öffentlich geförderten Vorhaben und Industrieprojekten an neuen Verfahren der plasmagestützten Abfallverwertung. Für die Verfahrensdemonstration unter praxisrelevanten Einsatzbedingungen kommt ein weltweit einzigartiger Lichtbogenplasmateststand mit 65 kW Plasmabrenner und Wasserdampf als Plasmagas zum Einsatz. Aktuell laufen die ersten Versuche mit Anodengraphit und homogenen Plastiksorten im ZeHS.

Voruntersuchungen finden ebenfalls im ZeHS in einem Teststand mit 1 kW Plasmabrenner statt. Darin wird der eingesetzte Feststoff in einem Batchversuch umgesetzt, wobei das Verhalten der Einsatzstoffe unter Einfluss des thermischen Plasmas untersucht sowie die Produktgaszusammensetzung analysiert werden.

Aktuelle Arbeiten

Im Rahmen des BMWK-Projekts „PhosCOOR – Thermochemische Phosphorrückgewinnung unter stark reduzierenden Bedingungen mit Berücksichtigung der CO_2 -Bilanz“ (BMWK-Förderkennzeichen 03EE5086) werden neue Verfahren für die Nutzung von Klärschlamm als sekundäre Phosphorquelle entwickelt. Die thermochemische Konversion (Klärschlammvergasung) bietet den Vorteil, dass sowohl der Phosphor als auch der im Klärschlamm enthaltene Kohlenstoff in den Verwertungskreislauf zurückgeführt und für die Wiederverwendung in der chemischen Industrie bereitgestellt werden können.

Im Vorhaben wird ermittelt, wie ein Energieeintrag über Lichtbogenplasma die Phosphorrückgewinnung unter O_2 -freier Atmosphäre unterstützen kann. Die im September 2021 aufgenommenen Arbeiten befassen sich zunächst mit grundlegenden Untersuchungen der Freisetzung von flüchtigen P-Spezies unter Laborbedingungen. Anschließend werden Verfahrenserprobungen im Plasmateststand am ZeHS durchgeführt.



**Bundesministerium
 für Wirtschaft
 und Klimaschutz**



Plasmateststand mit Feststoffzufuhr und Gasreinigung

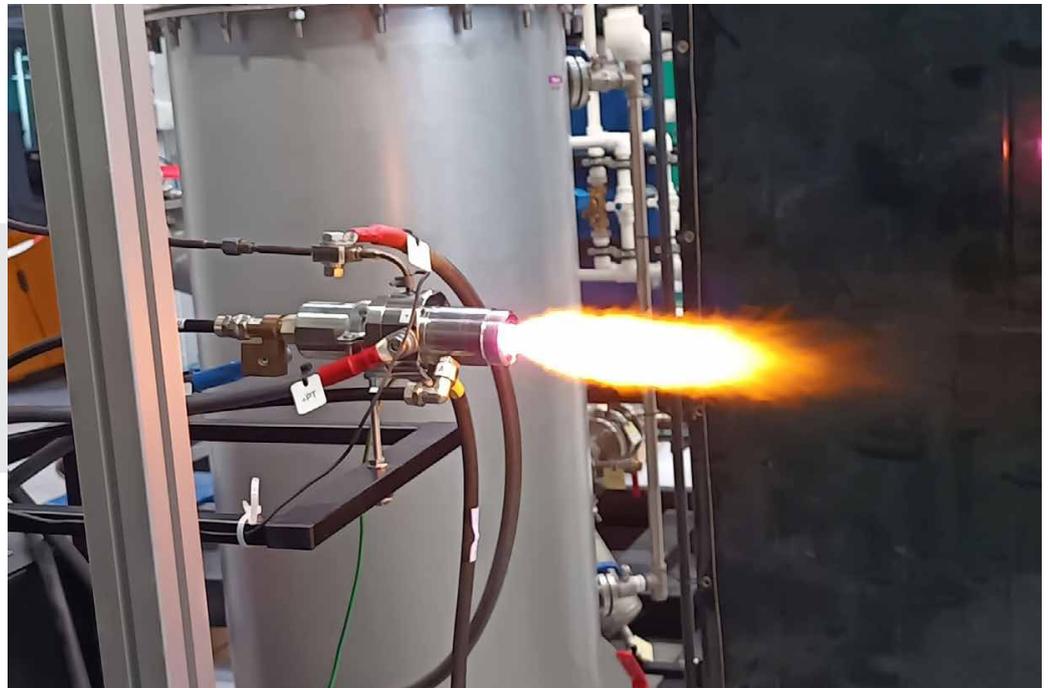
Thermochemische Konversion von Abfällen im Lichtbogenplasma

HALLE B, BEREICH 11

65 kW-Plasmabrenner

Stromeinkopplung in Hochtemperaturprozesse

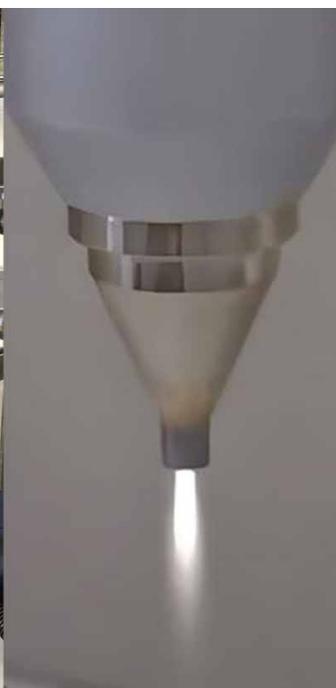
HALLE B, BEREICH 11



1 kW-Plasmabrenner-Teststand

Voruntersuchungen zum Feststoffverhalten im thermischen Plasma

HALLE B, BEREICH 12



GERÄTEINFRASTRUKTUR





**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 Forschungsgrößgeräten enthalten. Diese Großgeräteeinfrastruktur 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 Forschungsgrößgeräte 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 Forschungsgrößgeräte 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 Forschungsgrößgeräten 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 Tabellen auf der nachfolgenden Doppelseite geben eine Übersicht über alle aktuell am ZeHS betriebenen Großgeräte. Die Großgeräte umfassen zu etwa 42 % Syntheseinfrastruktur im weitesten Sinne. Mit einem Anteil von 58 % haben die Analytikgeräte den größeren Anteil. Da Analytikgeräte häufig Funktionen enthalten, die für weitere Arbeitsgruppen von Interesse sind, bieten insbesondere diese Geräte einen idealen Anknüpfungspunkt für Kooperationen.

Labore

Das ZeHS bietet den hier tätigen Arbeitsgruppen mit insgesamt 55 Laborräumen eine optimale Infrastruktur. Die Ausstattung der Labore variiert von einfachen physikalischen Messräumen bis hin zu voll ausgestatteten Chemielaboren. Je nach Ausstattungsgrad verfügen die Labore über Zu- und Abluft, Chemikalien- oder Gasflaschenschränke, Prozesskälte, Druckluft, technische Gase und Sicherheitstechnik wie Chemikalienabzüge und Gaswarnanlagen.

Technikumshallen

Ein besonderes Kennzeichen des ZeHS-Forschungsneubaus sind die beiden Technikumshallen für die Bereiche Hochtemperatur-Materialien und -Prozesse. Auf 600 m² bzw. 400 m² stehen damit Flächen für Pilotanlagen zur Verfügung. Die Hallen sind mit je zwei Schienenlaufkatzen mit einer Tragkraft von 2 t ausgestattet. Versuchsanlagen können eine lichte Höhe von 4,90 m nutzen. Die technische Ausstattung der Hallen beinhaltet die Ausstattung mit Prozessabluftanlagen, Kühlwasser und Notfallkälteversorgung, technischen Gasen und Druckluft.



ZENTRALLABORE DES ZEHS

Die Zentrallabore des ZeHS bieten als zentrale Infrastruktur Räume und eine Grundausstattung an Geräten und Werkzeugen für Metallographie, Trennverfahren und Mikroskopen für die optische Begutachtung von Oberflächen. Auch das Chemikalienlager gehört zu den Zentrallaboren. Hier können größeren Mengen an Chemikalien gelagert werden und es ist die Sammelstelle für Gefahrstoffabfälle.

Trennschleifmaschine Struers Discotom-10

- Geeignet für weiche metallische Werkstoffe, Edelstahl und gehärtete Stähle, Keramiken, Glas, refraktäre Materialien und Volumen-Hartstoffe.
- Probengrößen: 180 × 90 mm² oder bis Durchmesser 90 mm, Stäbe bis 500 mm
- Trennscheiben: bis 250 mm
- Trenntisch mit T-Nuten 10 mm
- Automatischer X-Tisch
- Automatischer Fahrschnitt: bis 200 mm
- Serienschnitte

Präzisionssäge Struers Accutom-100

- Geeignet für weiche metallische Werkstoffe, Edelstahl und gehärtete Stähle, Keramiken, Glas, refraktäre Materialien und Volumen-Hartstoffe.
- Probengrößen: 130 × 50 mm² oder bis Durchmesser 50 mm
- Trennscheiben: 75–150 mm
- Minimale Dicke der Trennscheiben: 0,15 mm
- Positionierung in Y-Richtung: 110 mm (Präzision 0,1 mm), X-Richtung: 60 mm (Präzision 0,005 mm)
- Probenaufnahme: Universalspanngerät mit Spannweite bis 60 mm
- Serienschnitte

Diamantdrahtsäge Diamond WireTec DWS 175

- Schnittfläche bis 170 × 170 mm²
- Probengewicht bis 15 kg
- Für Nass- und Trockenschnitte geeignet
- Trenntisch mit T-Nuten 10 mm
- universelles Spannsystem

Schleif- und Poliergeräte Struers Labopol und Laboforce

- halbautomatisches und manuelles Schleifen und Polieren
- automatisches Dosiersystem
- Einzelprobenhalter für bis zu 6 Proben mit Durchmesser 25 mm oder 30 mm
- Pneumatischer Probenandruck 30–300 N

Chemikalienlager

- Lagerung von größeren Gebinden
- Gefahrstoffspezifische Lagerbedingungen für Säuren und Laugen, brennbare Flüssigkeiten, giftige Feststoffe und Flüssigkeiten sowie Gase in Druckgasflaschen
- Sammelstelle für Gefahrstoffabfälle



ANALYTIKGERÄTE AM ZEHS

Bauteile und 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
- **Mikro-Raman-Spektrometer**, Jun.-Prof. Dr. Sindy Fuhrmann, Leonie Tipp
- **Rasterelektronenmikroskop mit Focused Ion Beam**, Prof. Dr. Christos G. Aneziris, Dr. Nora Brachhold
- **Röntgendiffraktometer mit In-situ-Probenkammer**, Prof. Dr. Dirk C. Meyer, Prof. Dr. Matthias Zschornak
- **Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse**, Prof. Dr. Martin Gräbner, Dr. Marcus Schreiner

SYNTHESEINFRASTRUKTUR AM ZEHS

Neue Materialien

- **Kreuzstrahl-Laser-Ablation**, Prof. Dr. Dirk C. Meyer, Dr. Barbara Abendroth
- **Sol-Gel-Beschichtungen**, Prof. Dr. Edwin Kroke, Dr. Konstantin Kraushaar

Komponenten und Bauteile

- **Additive Fertigungsanlage Metall-Laser-Pulverbett**, Prof. Dr. Henning Zeidler, Dr. Rezo Aliyev
- **Kombinierte Sputter-FLA-Anlage**, Prof. Dr. Dirk C. Meyer, Dr. Hartmut Stöcker

Herstellung von Prototypen

- **Elektronenstrahlanlage**, Prof. Dr. Martin Gräbner, Prof. Dr. Horst Biermann
- **Hochdruckpresse**, Prof. Dr. Edwin Kroke
- **Mikrowellenteststand**, Prof. Dr. Martin Gräbner
- **Plasmanitrieranlagen**, Prof. Dr. Horst Biermann
- **R2R-Anlage für die Rolle-zu-Rolle-Beschichtung**, Prof. Dr. Dirk C. Meyer, Dr. Hartmut Stöcker
- **Schutzgas-Entbinderungs- und Sinterofen**, Prof. Dr. Christos G. Aneziris, Dr. Christian Weigelt
- **Spark-Plasma-Sinteranlage**, Prof. Dr. Lutz Krüger, Dr. Markus Radajewski
- **Teststand Katalytisches Steam-Reforming**, Prof. Dr. Martin Gräbner
- **Water-Jet 3D-Drucker**, Prof. Dr. Christos G. Aneziris



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: 5×10^{-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 (Abtastrate: 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 interlaminarer Rissfortschritt in Materialien mit Gewebeverstärkung 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 ($\varnothing 8 \times 0,5 \text{ mm}^2$) 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.

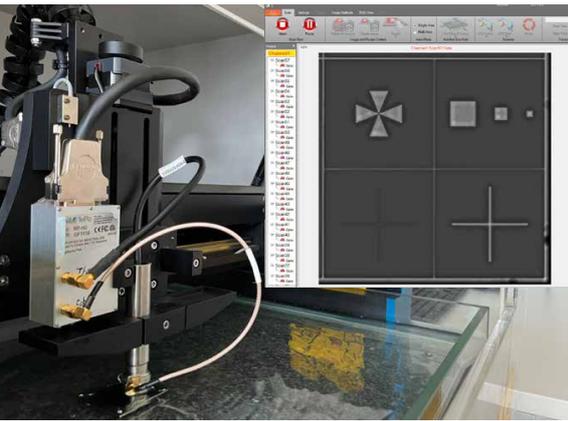
Die kompakte Prüfeinrichtung am ZeHS ist mit einer Heizvorrichtung ausgestattet, die eine Bestimmung der mechanischen Werkstoffeigenschaften bei Einsatztemperaturen und unter spezifischen Atmosphären ermöglicht.

Gerätespezifikationen

- Prüfmaschine: Hegewald & Peschke Inspekt Table 10 kN
- Probengröße: $\varnothing 8 \times 0,5 \text{ mm}^2$
- Materialien, die untersucht werden können: Metalle, Keramiken, Verbundwerkstoffe, Kunststoffe
- Temperaturbereich: Raumtemperatur – 1000 °C
- Atmosphären: Ar, N₂
- 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, N₂, O₂, H₂, CO₂, CO, NO_x
- Scanbereich des SPM-Scanners: 100 × 100 × 10 μm³
- 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 (N₂, O₂, H₂) temperaturinduzierte Änderungen *in situ* verfolgt werden. Ein Hochtemperaturhalter bis 600 °C steht ebenso zur Verfügung. Optional sind Erweiterungen beschaffbar, die Messungen 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: > 10⁸ 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 1M (Pixelgröße: 75 µm, Energiediskriminierung) mit einstellbarem Abstand zwischen Probe und Detektor (von minimal 45 mm – entspricht $q_{\max} = 49,3$ nm⁻¹ bis maximal 1625 mm – $q_{\min} = 0,01$ nm⁻¹), 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 ($T_{\max} = 250^{\circ}\text{C}$) und GC2 für Hochtemperaturanalysen ($T_{\max} = 420^{\circ}\text{C}$) – 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

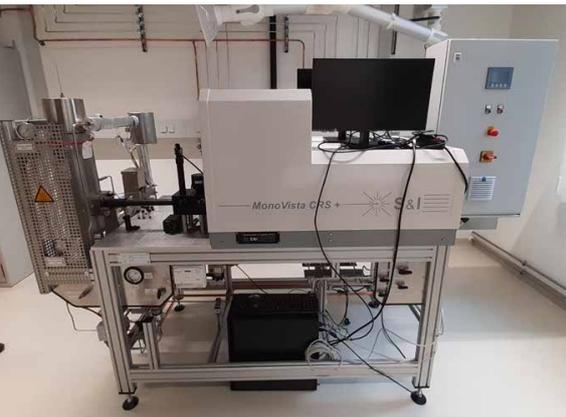
- Säule frei wählbar: Analyse mittels MS zur Identifikation unbekannter Komponenten in Proben
- Hochtemperatursäule: *On-column*-Analytik für Hochsieder, KW- und Wachse C5 bis C90+, SimDist-Methoden

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

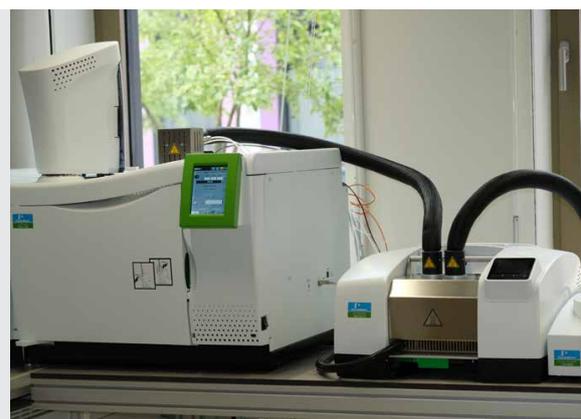
- S&I MonoVista CRS+ 500
- Räumliche Auflösung: 1 µm
- Laserwellenlänge: 532 nm
- Leistung: 100 mW regelbar
- Messbereich: 60 – 9000 cm⁻¹
- Auflösung: < 1 cm⁻¹
- Detektor: CCD (2D)

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 organischen 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-Stoffwandlungsprozesse 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 °C
- Klapprohröfen bis 1200 °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 (*CAL*culat*ion of PH*ase *D*iagram) 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

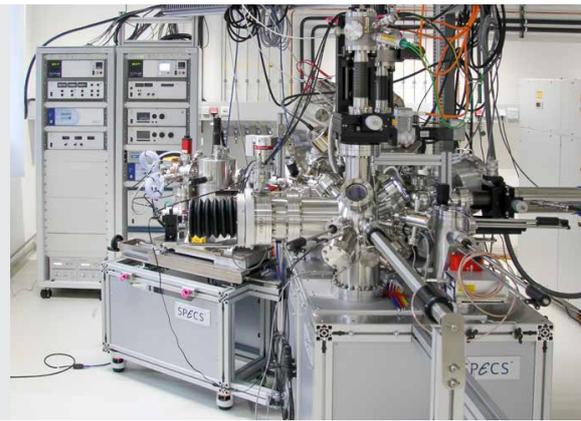
- Hochtemperaturkalorimeter MHTC-96
- 3D-Einwurfssystem bis 1300 °C (Typ S), 3D-Einwurfssystem bis 1500 °C (Typ B)
- DSC-Messsystem nach dem Tian-Calvet-Prinzip vom Typ S (bis 1400 °C) und vom Typ B (bis 1600 °C)
- Automatisiertes Einwurfmodul mit Temperaturmessung
- Verschiedene Tiegel aus Pt zur Messung 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 Analysekommer ($T_{\min} < 15$ K, $T_{\max} = 1100$ K)
- UPS / ARPES: He-I / He-II monochromatisiert
- XPS: Al-K α (150 W) monochromatisiert
- ASTRAIOS 190: hemispherischer Energie-Analysator mit 2D-CMOS Detektor
- Ar-Ionen-Quelle zum Reinigen von Proben (bis 3 kV)
- aktiv gepumpter Vakuumkoffer 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 1030×514 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.

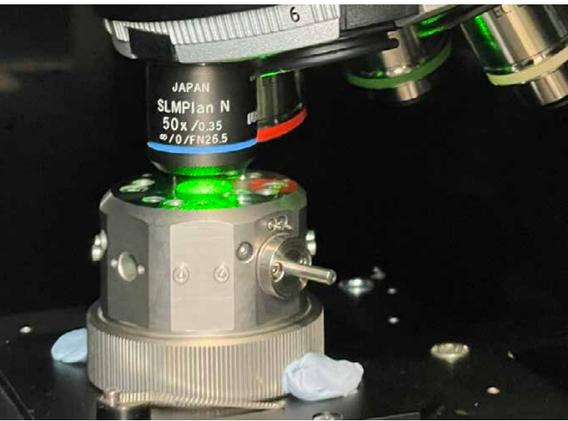
Im Rahmen des Kompetenzzentrums Hochtemperaturmaterialien (KHT-Materialien) ist die Erforschung grundlegender werkstoff- und verfahrenstechnischer Konzepte der Mikro- und Makrostrukturentwicklung zur Untersuchung des Alterungsverhaltens im Zusammenhang der Morphologie und der thermophysikalischen Eigenschaften 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 cm²/s
- Atmosphäre: i. d. R. Schutzgas (Argon, Helium)
- Proben: Feststoffe, flüssige Metalle
- Probenhalter Feststoffe: Al₂O₃, SSiC 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: Mirko Oehme



Mikro-Raman-Spektrometer

Jun.-Prof. Dr.-Ing. Sindy Fuhrmann, Leonie Tipp

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

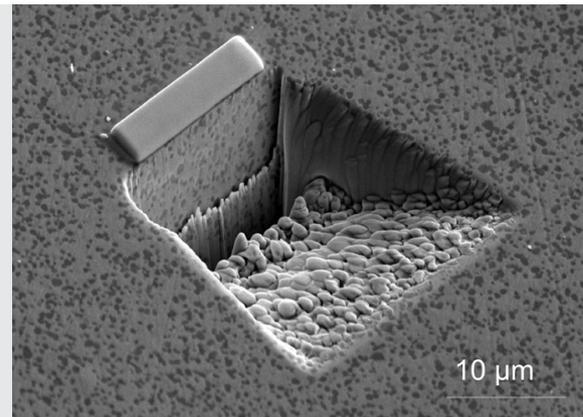
- Gerät: WITec alpha300R
- Wellenlängen: 532 nm und 785 nm, Laserklasse I
- Messungen in Stokes und Anti-Stokes ab $\pm 10 \text{ cm}^{-1}$
- Polarisation, Auf- und Durchlicht, Echtzeit-Autofokus
- Motorisierter x-y-Probenpositionierer, Verfahrweg: $100 \times 50 \text{ mm}^2$, Standard-Schrittweite: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

Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Jun.-Prof. Dr. Sindy Fuhrmann – Juniorprofessur Energie- und Rohstoffeffiziente Glastechnologie
- Geräteverantwortliche: Leonie Tipp

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 Zielpräparation 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 Rückstreuungselektronenbeugung (*Electron Back Scattering Diffraction – EBSD*) und Bestimmung der lokalen chemischen Zusammensetzung über energiedispersive 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.

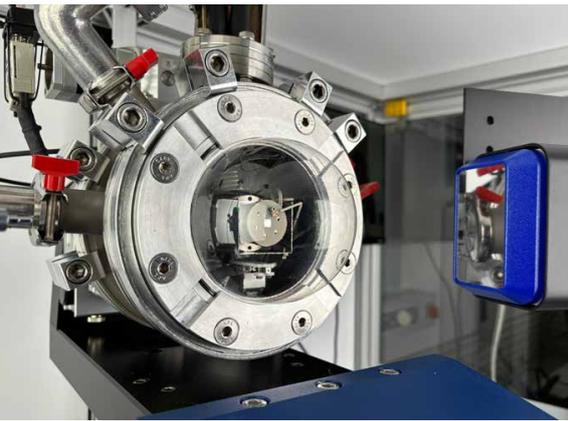
Zusätzlich eignet sich das *FIB/REM* aufgrund seines Niedrigvakuummodus für die Analyse und Präparation von elektrisch nicht leitfähigen Proben, wie z. B. Keramiken, Gläsern oder nicht dotierten Halbleitern.

Gerätespezifikationen

- REM-FIB-System mit Schottky-FE-Kathodensystem (Beschleunigungsspannung: 50 V bis 30 kV) und Gallionenquelle (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 cm³

Ansprechpartner

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



Röntgendiffraktometer mit *In-situ*-Probenkammer

Prof. Dr. Dirk C. Meyer,
Prof. Dr. Matthias Zschornak, Tina Weigel

Einsatzgebiet

Die „Nordseekammer“ ist eine für die Synchrotronforschung konzipierte Probenkammer für die *In-situ*-Charakterisierung der kristallinen Struktur von Materialien bei verschiedenen Temperaturen und/oder elektrischen Feldern. Mittels der speziell für Röntgenbeugungsmethoden ausgelegten Kammer kann die strukturelle Antwort des zu untersuchenden Materials – wie Einkristalle, dünne Schichten oder Schichtsysteme für Energiespeicher – unter Einfluss dieser äußeren Größen untersucht werden. Die Nordseekammer liefert stabile und exakt einstellbare Umgebungsbedingungen, was besonders für die Bestimmung von strukturellen Änderungen bei Phasenübergängen wichtig ist.

Um Messzeiten an Synchrotronforschungseinrichtungen besser vorzubereiten oder einfachere Fragestellungen direkt zu beantworten, wurde in Zusammenarbeit mit der Firma STOE & Cie GmbH ein Sonderaufbau des STOE STADIVARI-Diffraktometers entwickelt, welcher auf die Größe und Anforderungen der Nordseekammer abgestimmt wurde. Das Diffraktometer zeichnet sich besonders durch das Schwerlastgoniometer aus, welches Probenkammern mit einem Gewicht von bis zu 10 kg halten und positionieren kann. Dies macht den Sonderaufbau auch für Probenkammern zu anderen wissenschaftlichen Fragestellungen interessant. Neben der Messzeitvorbereitung in Form von Tests des experimentellen Aufbaus, der Proben und der Geräteansteuerung, können an dem Gerät auch Strukturlösungen an Einkristallen und Strukturverfeinerungen an polykristallinen Proben und dünnen Schichten durchgeführt werden.

Gerätespezifikationen Nordseekammer

- Probenkammer für *In-situ*-Charakterisierung
- Konzipiert für Beamline P23 und P24 an PETRA III, DESY
- Röntgendurchlässige Dome, verschiedene Materialien
- Evakuierbar bis 10^{-6} mbar
- Temperaturbereich: 100 K bis 1250 K, Kühlung mit Flüssigstickstoff
- Fernsteuerbare xyz-Stage für Probenadel zur elektrischen Kontaktierung
- Elektrische Charakterisierung, anwendbare Ströme im Bereich von 1 pA bis 1 A sowie Spannungen zwischen 1 V und 10 kV
- Hochspannungsfester Aufbau vorhanden

Gerätespezifikationen Diffraktometer

- Gerätetyp: STOE STADIVARI
- Röntgenstrahler: Mikrofokus-Röntgenquelle Primux 50 von Anton Paar und AXO Dresden, Silber-Strahlung, maximale Leistung 50 W, Brennfleck 50 μm
- Goniometer: Schwerlastgoniometer für bis zu 10 kg, Sonderaufbau von HUBER Diffractionstechnik, Translations- und Rotationsbewegungen
- Probenaufnahme: Halterung für Nordseekammer und Standardgoniometerköpfe von STOE
- Detektor: Dectris Eiger 2R CdTe 500K

Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Dr. Dirk C. Meyer – Institut für Experimentelle Physik
- Geräteverantwortliche: Tina Weigel

Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse

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



Einsatzgebiet

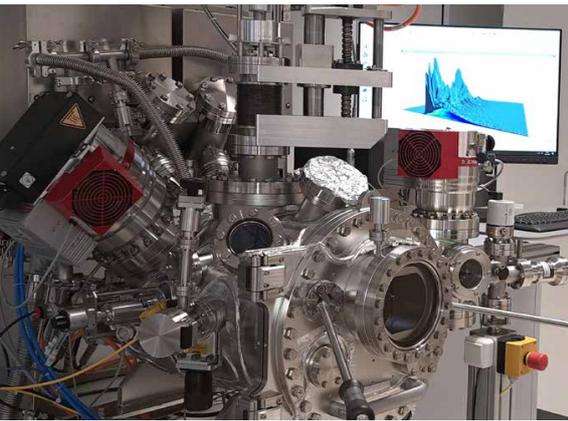
Die wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (WDRFA) dient der zerstörungsfreien Bestimmung anorganischer Elementgehalte im Haupt-, Neben- und Spurenbereich (ppm). Einsatzmöglichkeiten reichen vom schnellen qualitativen Scan bis hin zu langsameren quantitativen Messungen. Es ist ein weiter Bereich 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



Kreuzstrahl-Laser-Ablation

Prof. Dr. Dirk C. Meyer, Dr. Barbara Abendroth

Einsatzgebiet

Synthese von: Metallischen und oxidischen funktionalen Oberflächenbeschichtungen und Multilayern. Beispiele: Aluminosilikate, ZrO_2/W -Multilayer, Al-Ti-Mischoxide.

Methode: Die Kreuzstrahl-Laserablation (*cross beam pulsed laser deposition* – CBPLD) gehört zu den Vakuumbeschichtungsmethoden zur Herstellung von funktionalen Oberflächenbeschichtungen. Mögliche Einsatzgebiete sind z. B. Schutz-Beschichtungen für chemisch, thermisch oder mechanisch stark beanspruchte Oberflächen. Der Prozess findet unter Ultrahochvakuumbedingungen oder in einer Inert- oder Reaktivgas-Atmosphäre bei niedrigem Druck statt. Ein intensiver, gepulster Laser wird dazu verwendet das Ausgangsmaterial, das sogenannte Target zu zerstäuben. Daraus entsteht eine Plasmawolke, die sich mit hoher Geschwindigkeit ausbreitet und auf die zu beschichtende Oberfläche trifft.

Besonderheiten: Durch die Überlagerung von zwei simultan erzeugten Plasmafackeln lassen sich die Stöchiometrie und die kinetische Energie der Atome bei der Schichtbildung gezielt steuern. Die Herstellung von kristallinen Phasen abseits des thermodynamischen Gleichgewichts steht hier im Fokus. Zur Kontrolle und Steuerung der Plasmaparameter ist die Anlage für den Einsatz verschiedener Methoden der Plasmadiagnostik konzipiert. Die chemische Zusammensetzung und Ionisationsgrade der Plasmafackeln werden spektroskopisch bestimmt. Die Verteilungen der kinetischen Energie der Plasmaspezies können mittels energieaufgelöster Massenspektroskopie ermittelt werden.

Anlagenparameter

CBPLD-Anlage:

- Targets: metallische oder keramische Scheiben, Durchmesser 25 mm
- Substrate: Silizium-Wafer, Größe bis $10 \times 10 \text{ mm}^2$
- Temperatur: Raumtemperatur bis $1000 \text{ }^\circ\text{C}$
- Modi: klassische PLD, Kreuzstrahl-PLD, Multilayer
- Laser: KrF-Excimer-Laser, Wellenlänge 248 nm, Pulsenergie bis 700 mJ, Pulsdauer 25 ns, Repetitionsrate 1–50 Hz
- Hintergrunddruck 10^{-8} mbar, Arbeitsgas Ar, N_2 , O_2 bis 10^{-4} mbar

Optische Emissionsspektroskopie:

- Spektrometer: Kymera 325 mit Vierfach-Gitterturm, Gitter: 150, 600 und 1200 Linien/mm, Spiegel für die direkte Abbildung
- Kamera: Andor iStar Gated sCMOS-Kamera, 2560×2560 Pixel, minimale Gate-Breite 10 ns

Massenspektrometer:

- Hiden EQP Quadrupol Mass-energy Analyzer
- Messbereich Massen: 1–1000 amu
- Messbereich kinetische Energie: 0–1000 eV
- Modi: Neutrale, positive Ionen, negative Ionen, Appearance Potential

Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Dr. Dirk C. Meyer – Institut für Experimentelle Physik
- Geräteverantwortliche: Dr. Barbara Abendroth

Sol-Gel-Beschichtungen

Prof. Dr. Edwin Kroke, Dr. Konstantin Kraushaar



Einsatzgebiet

Synthese von: Hybridmaterialien mit anpassbaren Eigenschaften auf unterschiedlichen Substraten.

Methode: Die Sol-Gel-Synthese eignet sich auf Grund ihres Baukastenprinzips wunderbar um Hybridmaterialien mit gewünschten Eigenschaften herzustellen. Die Edukte für die Sol-Gel-Synthese lassen sich in drei große Gruppen einteilen: Netzwerkbilder, Netzwerkformer und Additive. Die Netzwerkbilder formen das dreidimensionale Grundgerüst aus Alkoxysilanen mit mehr oder weniger großem organischen Anteil. Die Netzwerkformer, z.B. Epoxy-funktionalisierte Alkoxysilane oder auch Metall/Übergangsmetall-Alkoxide, modifizieren das Netzwerk um mehr Flexibilität zu generieren. Abschließend können durch gezielt gewählte Additive bestimmte Eigenschaften in die Schutz- und Funktionsschichten implementiert werden.

Besonderheiten: Durch das beschriebene Baukastenprinzip sind die denkbaren Anwendungen und Funktionsmöglichkeiten von Sol-Gel-Beschichtungen sehr vielfältig. Die Beschichtungen können punktgenau auf die Anforderungen angepasst werden und ermöglichen somit eine gezielte Entwicklung. Neben der Einbringung von verschiedenen Schutz-Eigenschaften (Anti-Bakteriell/Viral/Korrosion/Fouling/...), lassen sich auch eine große Anzahl an Substraten beschichten. Es ist möglich neben Holz, Metall, Textilien auch die unterschiedlichsten Kunststoffe wie PVC, PMMA, PA, PC, um nur eine Auswahl zu nennen, zu beschichten.

Anlagenparameter

Anlagen:

- Große Sprühkammer
- Trockenschränke, -öfen und Temperierschränke
- Bau eigener Komponenten durch additive Fertigung zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit der vorhandenen Versuche
- Große Bandbreite an Applikationsmethoden (Pinsel, Rakel, Dip-/Spray-Coating)

Analytik der Materialkennwerte:

- Eigenschafts- und Materialkennwerte aller Formulierungen werden reproduzierbar ermittelt
- Dichte, Viskosität, Trockengrad, Gitterschnitt, Adhäsion, Trübung, Brechungsindex, Kontaktwinkel
- Temperier- und Immersionsversuche

Ansprechpartner

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



Additive Fertigungsanlage Metall-Laser-Pulverbett

Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler,
Dr.-Ing. Rezo Aliyev

Einsatzgebiet

Synthese von: Komplexen metallischen Bauteilen für den Einsatz in Luft- und Raumfahrt, Medizintechnik, Fahrzeugbau, Formen- und Werkzeugbau.

Methode: Die Anlage ermöglicht den additiven, schichtweisen Aufbau metallischer Bauteile aus dem entsprechenden Pulver bei hoher Temperatur. Die selektiv in die oberste Schicht des Metallpulvers induzierte Laserenergie führt zu einem lokalen Schmelzen der Pulverpartikel. Diese Bereiche bilden nach der Erstarrung eine Querschnittsfläche des Bauteils. Über das Aufrakeln einer neuen Pulverschicht und die Wiederholung des Vorgangs entsteht so sukzessive ein komplexes Bauteil. Die Anlage umfasst Peripheriegeräte, die die Aufbereitung, das Recycling, den Transport und die Lagerung der Pulver für den Prozess sowie das Abtrennen der Bauteile von der Bauplattform ermöglichen.

Besonderheiten: Die leistungsstarke Laserquelle der Anlage (1 kW) bildet die Ausgangsbasis für die Verarbeitung anspruchsvoller Metalllegierungen. Die Prozesse werden unter Schutzgasatmosphäre (N_2 , Ar) durchgeführt. Die Palette der verwendbaren Metalle umfasst u. a. Stähle, Al- und Ti-Legierungen sowie Reinkupfer. Die Anlage ist grundsätzlich materialoffen einsetzbar. Durch die Bauraumgröße von $275 \times 275 \times 350 \text{ mm}^3$ ist eine Fertigung anwendungsnaher Bauteilgrößen möglich. Das Abtrennen der Bauteile von der Bauplattform erfolgt mit einer ebenfalls installierten Drahterodieranlage.

Anlagenparameter

Additive Fertigung:

- 1070 nm 1 kW Yb-Faserlaser, 90 μm Fokusbereich
- Metallpulver: 316L, 17-4PH, 15-SPH, 420, 18Ni300, AlSi10Mg, TA15, CoCrMoW, CoCrMo, Ti6Al4V, IN625, IN718, GH3536, CuSn10 und reines Cu
- Pulvergröße: 30 – 70 μm
- Schichtdicke: 0,02 – 0,1 mm
- Bauraumgröße: $275 \times 275 \times 350 \text{ mm}^3$
- Schutzgas: Argon, Stickstoff
- Baurate: 5 – 20 cm^3/h
- Temperatur der Bauplattform: bis zu 200 °C

Pulversiebanlage:

- Volumen: 30 kg
- Schutzgas: Argon, Stickstoff

Drahterodieranlage:

- Arbeitstischgröße: $300 \times 360 \text{ mm}^2$
- Erodierwerkzeug: Wolfram-Draht
- Dielektrikum: Deionisiertes Wasser

Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler – Professur für Additive Fertigung
- Geräteverantwortlicher: Dr.-Ing. Rezo Aliyev

Kombinierte Sputter-FLA-Anlage

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



Einsatzgebiet

Synthese von: Herstellung von großflächigen Elektroden für Li-Ionen und Al-Ionen-Akkus auf Metall- oder Kunststofffolien.

Methode: Die Anlage kombiniert die physikalische Gasphasen-Abscheidung (*Physical Vapor Deposition* – PVD) mit der Blitzlampentemperatur (*Flash Lamp Annealing* – FLA) für die Herstellung von Elektrodenschichten für Al- oder Li-Ionen-Akkus auf 180×150 mm² großen Stromabnehmerfolien. Die Elektroden-Folien werden aus vier in einer Linie angeordneten DC-Magnetron-Sputterquellen beschichtet. Eine homogene Beschichtung wird durch lineare Bewegung der Folien-Carrier unter den Sputterquellen erreicht. Mit mehrfachen Durchgängen der Carrier unter beiden Magnetronquellen werden Multilayer-Schichten aus unterschiedlichen Materialien erzeugt.

Besonderheiten: Das FLA-Modul ermöglicht eine Ultrakurzzeit-Temperung der Elektrodenschichten innerhalb des Vakuumsystems. Hierbei werden Temperaturen von mehreren hundert Grad Celsius auf der Bandoberfläche innerhalb von wenigen Millisekunden erreicht. Diese einzigartige Technologie ermöglicht *in situ* die gezielte Ausbildung von Nicht-Gleichgewichtsphasen und spezieller Oberflächenmorphologien. Durch die ultrakurzen Wirkzeiten der Temperung wird das Bandmaterial selbst thermisch nicht beansprucht.

Anlagenparameter

Probenmaße:

- Substrat: bis 180×150×20 mm³ (B×T×H), Folien (Al, Cu, Polyimid) oder Wafer
- Prozessgeschwindigkeit: 0,1 – 4 mm/s

Vorkammer:

- Schleuse mit Vorvakuum bis 10⁻² mbar
- Plasmareinigung: Mikrowellenplasma, 50 W

Blitzlampe (in Vorkammer):

- Xe-Arc-Einzellampe, Blitzlänge 240 mm, Energiedichte bis > 40 J/cm², bis 1084 °C
- Einzelpuls oder Multi-Flash bis 10 Hz
- Pulsüberlagerung aus Vor- und Hauptpuls

Sputtern DC-Magnetron bis 1,5 kW:

- Hochvakuum bis 10⁻⁶ mbar
- 2 Rundquellen Ø75 mm
- 2 Rechteckquellen 70×230 mm²
- Schichtsysteme: elektrisch leitfähige Materialien, z. B. Al, C, Cu, Cr, Mo, Si, W
- Raten: Silizium bis 11,8 nm×m/min und Kupfer bis 16,5 nm×m/min

Sputtern reaktiv und RF-Magnetron bis 1 kW:

- Hochvakuum bis 10⁻⁶ mbar
- 2 Rechteckquellen 70×230 mm²
- Schichtsysteme: Isolatoren, Nitride, Oxide, z. B. TiN, LiF, YSZ

Ansprechpartner

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



R2R-Anlage für die Rolle-zu-Rolle-Beschichtung

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

Einsatzgebiet

Synthese von: Großflächigen Elektroden für Li-Ionen und Al-Ionen-Akkumulatoren.

Methode: Die R2R-Anlage kombiniert verschiedene Abscheide-Module zur physikalischen Gasphasenabscheidung (*Physical Vapor Deposition* – PVD). Das Grundmaterial ist z. B. eine Kupferfolie, die seriell durch alle Module geführt wird. Die R2R-Anlage enthält Module für die Plasmareinigung der Folienoberfläche, Gleichstrom- und Hochfrequenz-Magnetron-Quellen für die Abscheidung von Metallen und oxidischen Schichten und thermische Verdampfung für die Abscheidung von Metallen und Halbleitern mit hoher Abscheiderate.

Besonderheiten: Blitzlampenmodule (*Flash Lamp Annealing* – FLA) sind jeweils zwischen den PVD-Modulen integriert. Sie ermöglichen eine Ultrakurzzeit-Temperung. Hierbei werden Temperaturen von mehreren hundert Grad Celsius auf der Bandoberfläche innerhalb von wenigen Millisekunden erreicht. Diese einzigartige Technologie ermöglicht *in situ* die gezielte Ausbildung von Nichtgleichgewichtsphasen und speziellen Oberflächenmorphologien. Durch die ultrakurzen Wirkzeiten der Temperung wird das Bandmaterial selbst thermisch nicht beansprucht.

Anlagenparameter

Anlage:

- Bandmaterial: Metall oder Kunststoff (z. B. Cu, Al, Polyimid)
- Folie: Dicke 10 – 100 μm , Breite 180 mm, Rollen bis 50 kg
- Gas: Argon, Stickstoff, Sauerstoff
- Prozessgeschwindigkeit: 0,01 – 3 m/min

Prozessmodule:

- Plasmareinigung: Ar/H₂ Mikrowellenplasma, 50 W
- Magnetronspütern: DC, RF für je 3 Targets, Größe 70×230 mm²
- Elektronenstrahlverdampfen: bis 10 kW
- Blitzlampenmodule: Xenon-Einzellampe, Energiedichte bis > 40 J/cm², Temperatur bis 1100 °C, Einzelpuls oder Multi-Flash bis 10 Hz
- Infrarot-Tempern: bis zu 600 °C

Ansprechpartner

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

Schutzgas-Entbinderungs- und Sinterofen

Prof. Dr.-Ing. Christos G. Aneziris,
Dr.-Ing. Christian Weigelt



Einsatzgebiet

Synthese von: Refraktär-metallkeramische Verbundwerkstoffe für die Hochtemperaturanwendung

Methode: Widerstandsheizter auf Basis von Graphit mit graphitischer Innenauskleidung. Zusätzlich gibt es eine Abgasnachverbrennung mit Erdgas.

Besonderheiten: Konstruktive Trennung der Probenkammer vom Ofenraum- bzw. Heizraum. Dadurch ist es möglich unterschiedliche Atmosphären zu verwenden. Kann bis 600 °C als Entbinderungs-ofen unter Luftatmosphäre mit Nachverbrennung benutzt werden. Bei höheren Temperaturen bis 2100 °C Betrieb unter Schutzgas Ar und/oder N₂. Gesamter Ofen- und Probenraum kann evakuiert werden (Hochvakuum).

Anlagenparameter

- Gase (Ar, N₂, Luft) mit bis zu 20 l/min
- zylindrischer Probenraum: $r = 300 \text{ mm}$, $h = 800 \text{ mm}$
- Heizrate max. 10 K/min

Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Dr.-Ing. Christos. G. Aneziris – Professur für Keramik, Feuerfest und metallkeramische Verbundwerkstoffe
- Geräteverantwortlicher: Dr.-Ing. Christian Weigelt



Spark-Plasma-Sinteranlage

Prof. Dr.-Ing. Lutz Krüger, Dr. Markus Radajewski

Einsatzgebiet

Synthese von: kompaktierten Proben aus pulverförmigem Ausgangsmaterial (z. B. Metallpulver, Keramikpulver oder Verbundwerkstoffpulver), Erzeugung von Werkstoffverbunden (z. B. durch Diffusionsfügen) oder gradierten Materialien.

Methoden: Die Hybrid-Heißpresse bzw. Spark-Plasma-Sinteranlage FCT H HP D 60 FL ermöglicht das druckunterstützte Sintern des Probenmaterials unter der Verwendung von drei unterschiedlichen Betriebsmodi. Dabei kann die Aufheizung des Probenmaterials/Sinterwerkzeuges durch einen elektrischen Strom (Widerstandserwärmung), mit einer Spule (induktive Erwärmung) oder durch die Kombination der zuvor genannten Methoden (Hybrid-Modus) erfolgen.

Besonderheiten: Allgemein können infolge eines radialen Temperaturgradienten, der vor allem bei großen Probendurchmessern (≥ 80 mm) auftritt, die Materialeigenschaften der gesinterten Probe in radialer Richtung variieren. Durch die Verwendung des Hybrid-Modus, bei dem die Aufheizung des Probenmaterials/Sinterwerkzeuges sowohl induktiv als auch durch Widerstandserwärmung erfolgt, werden an dieser Anlage auch bei großen Probendurchmessern eine homogenere Temperaturverteilung und somit gleichmäßigere Materialeigenschaften im gesamten Probenvolumen gewährleistet. Zusätzlich können aus den zylinderförmigen Proben (maximaler Durchmesser: 150 mm, maximale Probenhöhe: 30 mm) nahezu alle relevanten Proben zur Generierung der mechanischen Werkstoffeigenschaften gewonnen werden.

Anlagenparameter

Anlage:

- realisierbare Probendurchmesser: 80–150 mm
- maximale Temperatur: ≤ 2200 °C
- maximale Last: 20–600 kN
- Atmosphäre: (Fein-)Vakuum, N₂, Ar
- Pyrometer-Prozessregelung: ab 100 °C

Heizraten (abhängig vom Sinterwerkzeug und Probenmaterial):

- FAST/SPS-Betrieb: 50–500 K/min
- HP-Betrieb: 50–100 K/min
- Hybrid-Betrieb: 50–1000 K/min

Ansprechpartner

- Verantwortliche Professur: Prof. Dr.-Ing. Lutz Krüger
– Professur für Werkstoffprüfung und Bauteilfestigkeit
- Geräteverantwortlicher: Dr. Markus Radajewski

PUBLIKATIONEN



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: ECKAP

„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.

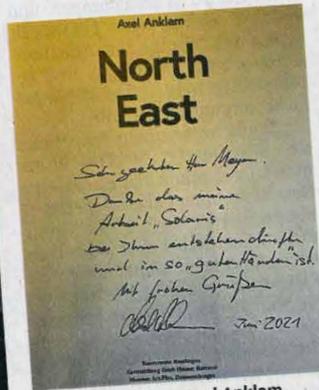
VON STEFFEN JANKOWSKI

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

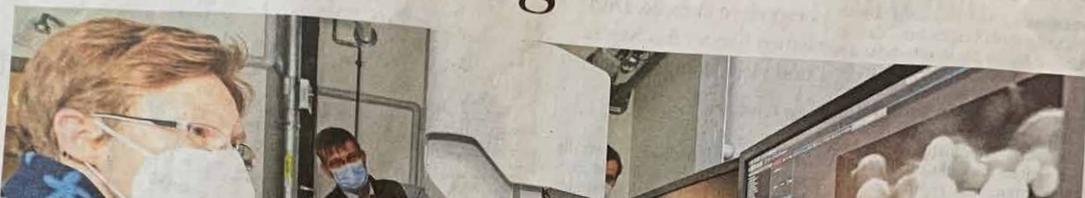


Axel Anklam bei der Arbeit. FOTO: THERESA LEMSER

Ein Palast der Forschung

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

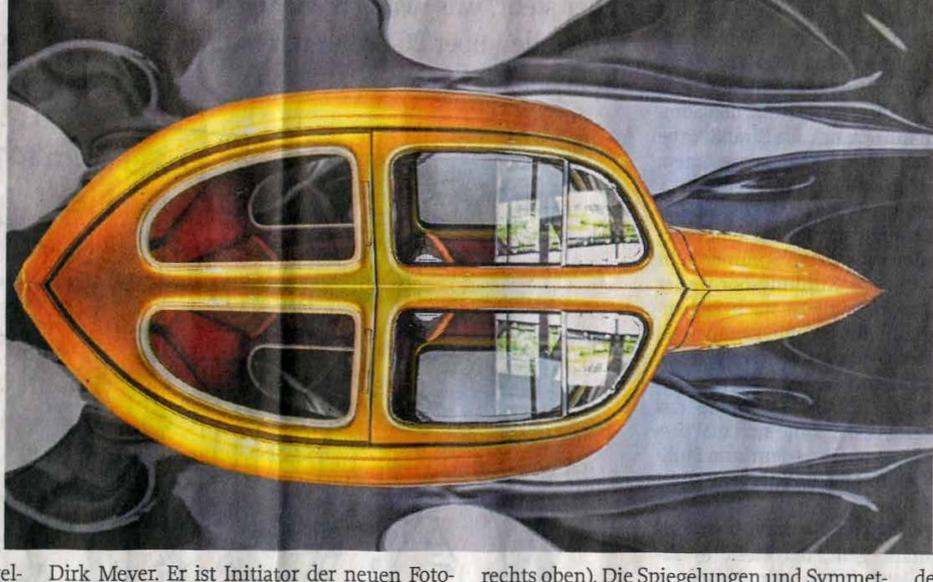
VON WIELAND JOSCH



Idee u
ein Mo
Rund
haben
Archit
im Ne
Winkl
Es gab
VON WIELAND
UND STEFFEN
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 Joehnke (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 Grundlagen. Die Ausstellung ist bis zum 29. Januar



An der Hand von Theresa Lemser erklärt Libelle Billie der Schülerin Katja Stöcker die Arbeit im Zentrum für effiziente Hochtemperaturstoffumwandlung an der Winklerstraße in Freiberg. Im Hintergrund ist die Installation „Solaris“ zu sehen. FOTO: ZEHS

für effiziente Hochtemperatur-Stoffumwandlung an der Winklerstraße Welt der Minerale und des Bergbaus genommen.



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 Foto: ZEHS

Professor Dirk Carl Meyer war mit der Resonanz auf den Tag der Architektur

ZENTRUM FÜR EFFIZIENTE HOCHTEMPERATUR-STOFFWANDLUNG

DAS ZEHS IN DER PRESSE

„Kunst trifft Wissenschaft“: Düsseldorfer Maler und Performance-Künstler stellt an der TUBAF aus

Im Rahmen der Reihe „Kunst trifft Wissenschaft“ präsentiert der Künstler Walter Maria Padoa Gemälde verschiedenen Formats im Atrium des ZeHS. Die Arbeiten korrespondieren dabei mit der Architektur des Forschungsbaus.

Pressemitteilung, 7. November 2024: <https://tu-freiberg.de/news/kunst-trifft-wissenschaft-duesseldorfer-maler-und-performance-kuenstler-stellt-der-tubaf-aus>

Warum ein Forschungszentrum in Freiberg eine Libelle als Maskottchen hat

Das Zentrum für effiziente Hochtemperaturstoffumwandlung (ZeHS) der TU Bergakademie macht nicht nur in der Fachwelt von sich reden. Das Maskottchen des Freiburger ZeHS hat sich in dem Forschungskomplex der TU Bergakademie Freiberg gut „eingelebt“.

Freie Presse, 1. Oktober 2024: <https://www.freiepresse.de/mittelsachsen/freiberg/warum-ein-forschungszentrum-in-freiberg-eine-libelle-als-maskottchen-hat-artikel13546279>

Batterien neu denken mit Aluminium

Energiespeicher der Zukunft müssen fortschrittlich, kostengünstig und nachhaltig sein. Dafür ist es entscheidend, dass die verwendeten Materialien sowohl gut verfügbar als auch recycelbar sind. Ein Forschungsteam der TU Bergakademie Freiberg hat nun bedeutende Fortschritte bei der Entwicklung einer Aluminium-Batterie erzielt, die diesen Anforderungen gerecht wird.

Pressemitteilung, 5. September 2024: <https://tu-freiberg.de/news/batterien-neu-denken-mit-aluminium>

Kooperationslabor zur Ultraschalldiagnostik am ZeHS eröffnet

Das neue Kooperationslabor für Akustik im Zentrum für effiziente Hochtemperatur Stoffwandlung an der TUBAF wurde im Juli 2024 eröffnet. Das hochmoderne Labor dient als zentraler Anlaufpunkt für akustische Messungen im Bereich der Material- und Bauteilcharakterisierung und ergänzt die bereits bestehenden Analysemethoden am ZeHS.

Pressemitteilung, 7. Juli 2024: <https://tu-freiberg.de/news/kooperationslabor-zur-ultraschalldiagnostik-am-zehs-eroeffnet>

Auftakt für interdisziplinäres Stipendienprogramm am ZeHS

Am Montag, den 29. April 2024 ist am Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung ein neues interdisziplinäres Stipendienprogramm mit der feierlichen Übergabe der Urkunden gestartet. Sechs Stipendiatinnen und Stipendiaten erhalten mit Unterstützung des Stifterverbands rund 200 € monatlich.

Pressemitteilung, 30. April 2024: <https://tu-freiberg.de/zuv/d5/presse-und-medien/kurz-gemeldet>

Aktuelles aus dem ZeHS

Das ZeHS steht nach seiner offiziellen Inbetriebnahme im Jahr 2021 in vollständiger Nutzung. Bei einer durchschnittlichen Auslastung in allen Kategorien (Hallenflächen, Labore und Büros) von ca. 95 Prozent gibt es reges Leben und viele Gelegenheiten noch enger zusammenzuwachsen.

Acamonta 31, 2024: <https://tu-freiberg.de/vff>

Aluminiumbatterie aktuell

Die Forschungsprogrammatik des ZeHS zielt auf eine umfassende Unterstützung der einheimischen Grundstoffindustrie im Rahmen der Energiewende. Dazu zählt ausdrücklich die Speicherung elektrischer Energie, weshalb auch diesbezüglich aktiv Forschung betrieben wird. Besonderes Potenzial für einschlägige Anwendungen besitzt die Aluminiumbatterie.

Acamonta 30, 2023: <https://tu-freiberg.de/vff>

Erfolgreiche Synergie zwischen TT-Professur und ZeHS

Im April 2021 hat Dr. Christian Kupsch seine TT-Professur (W1) an der TU Bergakademie Freiberg angetreten. Seine Professur war Teil des Tenure-Track-Programms des Bundes und der Länder und er startete zunächst alleine. Mit den ersten Projekten und Kooperationen wuchs das Team jedoch schnell.

Acamonta 30, 2023: <https://tu-freiberg.de/vff>

Gelungene Firmenzusammenarbeit am ZeHS

Mit der Antragstellung für das ZeHS wurde auf das besondere Potenzial der Einbeziehung regionaler Unternehmen in Kooperationsvorhaben hingewiesen. Solche Kooperationen werden inzwischen aktiv gelebt und es existieren entsprechende Vereinbarungen, welche einen Mehrwert für alle Seiten darstellen.

Acamonta 30, 2023: <https://tu-freiberg.de/vff>

Soziales Leben am ZeHS

Nachdem das ZeHS nunmehr wissenschaftlich und technisch etabliert ist, gibt es immer mehr Begegnungen. Dazu tragen ganz maßgeblich die von den Architekten dafür vorgesehenen Teeküchen bei. Es fällt auf, dass durch die Schüleruniversität und etwa die Ausstellung „Salz des Lebens“ ganz häufig Schulklassen das Foyer bevölkern.

Acamonta 30, 2023: <https://tu-freiberg.de/vff>

Teststand zur Feststoffkonversion für die Synthesegaserzeugung

Im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC) und dem Institut für Experimentelle Physik (IEP) hat ein Teststand für die plasmagestützte Konversion von Feststoffen Einzug in das Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung (ZeHS) gehalten.

Acamonta 30, 2023: <https://tu-freiberg.de/vff>

PROF. CHRISTOS G. ANEZIRIS

- G. Günay, T. Zienert, D. Endler, C. G. Aneziris, H. Biermann, A. Weidner: **Influence of particle size and fabrication method on mechanical properties of Nb-Al₂O₃ refractory composites under compressive loads at high temperatures**, *Ceramics International* (2025) in press
- S. Yaroshevskiy, N. Brachhold, P. Malczyk, P. Gehre, C. G. Aneziris: **Pre-oxidized Recycled MgO–Steel Composite Material for Possible Application in Cryolitic Melts**, 2024, *Steel Research International* 96 (2025) 2400435
- M. Oppelt, C. Dietze, S. Dudczig, K. Moritz, M. Neumann, F. Kerber, C. G. Aneziris: **Thermal treatment of MgO refractories in a pilot furnace heated with microwave plasma burner**, *Journal of the European Ceramic Society* 45 (2025) 117146
- F. Kerber, U. Schuhmacher, J. Hubálková, N. Brachhold, E. Rimpel, C. G. Aneziris: **Degradation of mechanical properties of MgO-spinel bricks after pre-treatment in hydrogen-containing atmospheres at different temperatures**, *Journal of the European Ceramic Society* 45 (2025) 116827
- O. H. Borges, F. G. Coury, N. Brachhold, C. G. Aneziris, V. C. Pandolfelli: **Designing eco-friendly alternative microstructures for magnesia-chromium aggregates**, *Journal of the American Ceramic Society* 107 (2024) 8704–8715
- F. Kerber, N. Brachhold, P. Malczyk, T. Schemmel, H. Jansen, C. G. Aneziris: **Phase analysis of complex non-metallic inclusions in Al-deoxidized 42CrMo4 steel after contact with MgO–C refractories**, *Open Ceramics* 16 (2023) 100481
- T. M. J. Stadtmüller, E. Storti, N. Brachhold, A.-M. Lauermannová, O. Jankovský, T. Schemmel, J. Hubálková, P. Gehre, C. G. Aneziris: **MgO–C refractories based on refractory recyclates and environmentally friendly binders**, *Open Ceramics* 16 (2023) 100469
- C. Weigelt, S. Yaroshevskiy, F. Kerber, N. Brachhold, T. Zienert, A. Adamczyk, D. Vogt, A. Charitos, C. G. Aneziris: **Investigations on the corrosion of 316L steel composite materials with MgO/TiO₂ ceramic immersed in molten cryolite**, *Open Ceramics* 16 (2023) 100480
- C. Heuer, S. Dudczig, N. Brachhold, C. G. Aneziris, R. Soth, A. Priesse, C. Wöhrmeyer, C. Parr: **Yttria magnesia co-stabilized zirconia refractories for application as functional components in continuous steel casting**, *Open Ceramics* 16 (2023) 100456
- K. Moritz, N. Brachhold, F. Küster, S. Dudczig, T. Schemmel, C. G. Aneziris: **Studies on the use of two different magnesia-carbon recyclates as secondary raw material for MgO–C refractories**, *Open Ceramics* 15 (2023) 100426
- E. Storti, F. Kerber, S. Dudczig, R. Wagner, A. Weidner, H. Biermann, C. G. Aneziris: **Combined steel melt filtration through reactive and active filters**, *Open Ceramics* 15 (2023) 100415

- K. Moritz, N. Brachhold, J. Hubálková, G. Schmidt, C. G. Aneziris: **Utilization of Recycled Material for Producing Magnesia–Carbon Refractories**, *Ceramics* 6 (2023) 30–42
- T. Zienert, C. G. Aneziris: **Thermal Expansion and Phase Transformation up to 1200 °C of Metastable Aluminas Produced by Flame Spraying**, *Crystals* 13 (2023) 743
- M. Neumann, K. Michon, D. Endler, T. Zienert, H. Jelitto, G. A. Schneider, C. G. Aneziris: **On the fracture behaviour of niobium-alumina castables**, *Journal of the European Ceramic Society* 43 (2023) 5026–5031
- D. Endler, T. Zienert, V. Rongos, J. Hubálková, P. Gehre, C. G. Aneziris: **Low Shrinkage, Coarse-Grained Tantalum–Alumina Refractory Composites via Cold Isostatic Pressing**, *Advanced Engineering Materials* 24 (2022) 2200754
- M. K. Eusterholz, T. Boll, J. Gebauer, A. Weidner, T. Zienert, A. Kaufmann, P. Franke, H. J. Seifert, H. Biermann, C. G. Aneziris, M. Heilmaier: **High-Temperature Ternary Oxide Phases in Tantalum/Niobium–Alumina Composite Materials**, *Advanced Engineering Materials* 24 (2022) 2200161
- G. Günay, T. Zienert, C. G. Aneziris, H. Biermann, A. Weidner: **High-Temperature Compressive Behavior of Refractory Alumina–Niobium Composite Material**, *Advanced Engineering Materials* 24 (2022) 2200292
- E. Storti, M. Neumann, T. Zienert, J. Hubálková, C. G. Aneziris: **Metal-Ceramic Beads Based on Niobium and Alumina Produced by Alginate Gelation**, *Materials* 14 (2022) 5483
- E. Storti, M. Neumann, T. Zienert, J. Hubálková, C. G. Aneziris: **Full and Hollow Metal–Ceramic Beads Based on Tantalum and Alumina Produced by Alginate Gelation**, *Advanced Engineering Materials* 24 (2022) 2200381
- M. Weiner, T. Zienert, M. Schmidtchen, J. Hubálková, C. G. Aneziris, U. Prael: **A New Approach for Sintering Simulation of Irregularly Shaped Powder Particles—Part II: Statistical Powder Modeling**, *Advanced Engineering Materials* 24 (2022) 2200443
- T. Zienert, D. Endler, J. Hubálková, P. Gehre, M. Eusterholz, T. Boll, M. Heilmaier, G. Günay, A. Weidner, H. Biermann, B. Kraft, S. Wagner, C. G. Aneziris: **Coarse-Grained Refractory Composite Castables Based on Alumina and Niobium**, *Advanced Engineering Materials* 24 (2022) 2200296
- T. Zienert, D. Endler, N. Brachhold, M. Weiner, M. Schmidtchen, U. Prael, C. G. Aneziris: **Characterization of Sintered Niobium–Alumina Refractory Composite Granules Synthesized by Castable Technology**, *Advanced Engineering Materials* 24 (2022) 2200407
- P. Gehre, T. Zienert, D. Endler, J. Hubálková, E. Storti, C.G. Aneziris: **Design and production of coarse-grained aggregates for (Nb/Ta)-Al₂O₃ refractory composites**, *Proceedings of the Unified International Technical Conference on Refractories UNITECR 2022, Chicago, USA, 1–5* (mit zugehörigem wissenschaftlichen Vortrag am 17.03.2022 in Chicago)

PROF. THOMAS A. BIER

- M. Kobayashi, K. Takahashi, Y. Kawabata, T. A. Bier: **Physicochemical properties of Portland cement/calcium aluminate cement/calcium sulfate ternary binder exposed to long-term deep-sea conditions**, *Materials and Structures* 55 (2022) 182
- T. A. Bier, E. Kränzlein, E. Qoku, S. Waida: **Utilization of Supplementary cementitious materials (SCM) in Portland cement, alkali activated and ternary binders**, *Industrial Waste: Characterization, Modification and Applications of Residues* (2022) 253–295
- P. Schiller, M. Wahab, T. A. Bier, H.-J. Mögel: **A model for elucidating the contributions of meso- and macropores to water sorption and strain in cementitious materials**, *Cement and Concrete Research* 151 (2022) 106589

PROF. HORST BIERMANN

- K. Kerber, L. Halbauer, H. Biermann, A. Buchwalder: **Suppression of spiking defects in deep penetration electron beam welded ETP copper**, *Welding in the World* 68 (2024) 1443–1459
- S. M. Jafarpour, S. Martin, C. Schimpf, A. Dalke, H. Biermann, A. Leineweber: **Comparative plasma nitrocarburizing of AISI 316L and AISI 304 steels using a solid carbon active screen: differences in the developing microstructures**, *Metallurgical and Materials Transactions A* 55 (2024) 1588–1599
- H. Biermann, A. Weidner, X. Wu: **High-temperature strength and form stability of compact and cellular carbon-bonded alumina**. In: *Multifunctional Ceramic Filter Systems for Metal Melt Filtration – Towards Zero-Defect Materials*, C. G. Aneziris and H. Biermann (Ed.), Springer Series in Materials Science, Vol. 337 (2024) 551–575
- E. L. Dalibon, A. Dalke, H. Biermann, S. P. Brühl: **Short time nitriding and nitrocarburizing of martensitic stainless steel**, *Surface and Coatings Technology* 485 (2024) 130931
- D. Manova, S. Mändl, A. Dalke, H. Biermann: **Surface segregation phenomena encountered during solid carbon active screen plasma nitrocarburizing of AISI 316L**, *Surface and Coatings Technology* 489 (2024) 131091
- R. Müller, P. Hengst, H. Biermann, R. Hunger, R. Berger, A. Buchwalder: **Influence of the boriding thermal cycle of a clad Inconel 718 layer on both in situ age hardening as well as wear and corrosion behaviour**, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 53 (2024) 118–127

- S. M. Jafarpour, A. Dalke, H. Biermann: **New Approach for Plasma Nitrocarburizing of Stainless Steels by a Modified Reactor Configuration Using a Plasma-Activated Solid Carbon Precursor**, steel research international (2024) 2400247
- S. M. Jafarpour, A. Dalke, H. Biermann: **Recent progress in advanced plasma-assisted thermochemical treatments of steels**, La Metallurgia Italiana 115 (2024) 8–15
- S. M. Jafarpour, M. Mandel, L. Krüger, H. Biermann, A. Dalke: **Functional properties of expanded austenite generated on AISI 316L by plasma nitrocarburizing using different active screen materials**, Materials Research Express 11 (2024) 116501
- X. Wu, A. Weidner, C. G. Aneziris, H. Biermann: **High-temperature mechanical behavior of compact carbon-bonded alumina based on a pitch-free lactose-tannin binder system**, Ceramics International 49 (2023) 13140–13149
- R. Müller, P. Hengst, H. Biermann, A. Buchwalder: **Effect of Heat Treatment on the Microstructure and Properties of an Electron Beam Cladded Layer of Inconel 718**, HTM Journal of Heat Treatment and Materials 78 (2023) 162–180
- A. V. Pipa, A. Puth, J. Böcker, S. Jafarpour, A. Dalke, H. Biermann, J. Röpcke, J. H. van Helden: **Laser absorption spectroscopy for plasma-assisted thermochemical treatment I: applicability of Beer-Lambert law and interpretation of spectroscopic data**, Plasma Sources Science and Technology 32 (2023) 085011
- A. V. Pipa, A. Puth, J. Böcker, S. Jafarpour, A. Dalke, H. Biermann, J. Röpcke, J. H. van Helden: **Laser absorption spectroscopy for plasma-assisted thermochemical treatment II: impact of the carbon and water contaminants on a low-pressure N₂-H₂ discharge**, Plasma Sources Science and Technology 32 (2023) 085012
- S. M. Jafarpour, A. V. Pipa, A. Puth, A. Dalke, J. Röpcke, J. H. van Helden, H. Biermann: **The Interplay Effects Between Feed-Gas Composition and Bias Plasma Condition during Active Screen Plasma Nitrocarburizing with a Solid Carbon Source**, Coatings 13 (2023) 1103
- J. Solarek, X. Wu, S. Henkel, C. G. Aneziris, H. Biermann: **Fracture mechanical behaviour of fine-grained carbon-bonded alumina at room and high temperature**, Ceramics International 49 (2023) 30776–30781
- E. Storti, F. Kerber, S. Dudczig, R. Wagner, A. Weidner, H. Biermann, C. G. Aneziris: **Combined steel melt filtration through reactive and active filters**, Open Ceramics 15 (2023) 100415
- J. Solarek, A. Schramm, S. Henkel, A. Weidner, C. G. Aneziris, H. Biermann: **Fracture mechanics behavior of coarse-grained MgO-C at room and high temperature**, Ceramics International 49 (2023) 33874–33880
- C. H. Wolf, S. Henkel, H. Biermann: **Untersuchung des Ermüdungsverhaltens gewebeverstärkter Faser-Kunststoff-Verbunde**. In: 54. Tagung des Arbeitskreises Bruchmechanik und Bauteilsicherheit, 14.–15.02.2023, DVM-Bericht 255 (2023) 65–72

- G. Günay, T. Zienert, C. G. Aneziris, H. Biermann, A. Weidner, B. Kraft, S. Wagner: **High-temperature damage and mechanical behaviour of niobium-alumina refractory composites under compression and bending**. In: Proc. UNITECR 2023, 18th Biennial World Congress, Frankfurt am Main (2023) 801–804
- N. M. Le, M. Mandel, L. Krüger, H. Biermann, A. Dalke: **Effect of N₂-H₂ Ratio during Conventional Plasma Nitriding of Intermetallic FeAl₄₀ Alloy on Electrochemical Corrosion Parameters in Sulphuric Acid**, Metals 12 (2022) 649
- A. Schramm, S. M. Jafarpour, C. Schimpf, H. Biermann, A. Dalke: **Effect of bias plasma on active screen nitrocarburising response of AISI 420 martensitic stainless steel**, Vacuum 205 (2022) 111389
- J. Böcker, A. Puth, A. V. Pipa, J.-P. H. van Helden, J. Röpcke, H. Biermann, A. Dalke: **Influence of Plasma Power and Oxygen-Containing Process Gases in Active Screen Plasma Nitrocarburizing with Carbon Solid Source**, HTM Journal of Heat Treatment and Materials 77 (2022) 374–390
- X. Wu, A. Weidner, C. G. Aneziris, H. Biermann: **High-temperature mechanical behavior of compact carbon-bonded alumina based on a pitch-free lactose-tannin binder system**, Ceramics International 49 (2023) 13140–13149
- X. Wu, T. Wetzig, C. G. Aneziris, A. Weidner, H. Biermann: **Compression behavior of carbon-bonded alumina spaghetti filters at room and high temperatures**, Advanced Engineering Materials 24 (2022) 2100613
- X. Wu, A. Weidner, C. G. Aneziris, H. Biermann: **Manufacture of carbon-bonded alumina based on a lactose-tannin binder system via slip casting**, Ceramics International 48 (2022) 148–156
- G. Günay, T. Zienert, D. Endler, C. G. Aneziris, H. Biermann, A. Weidner: **High-Temperature Compressive Behavior of Refractory Alumina–Niobium Composite Material**, Advanced Engineering Materials 24 (2022) 2200292
- R. Müller, P. Hengst, H. Biermann, A. Buchwalder: **Effect of Heat Treatment on the Microstructure and Properties of an Electron Beam Cladded Layer of Inconel 718**, HTM Journal of Heat Treatment and Materials 78 (2023) 162–180
- R. Müller, P. Hengst, H. Biermann, A. Buchwalder: **Development of a basic technology for multilayer electron beam cladding of Inconel 718 nickel-based alloy onto an austenitic stainless steel**, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 38 (2022) 84–92

PROF. ANDREAS S. BRÄUER

- S. Höntsch, F. Fehse, H. W. Schröder, V. Herdegen, A. S. Bräuer: **Influence of comminution and briquetting parameters on the agglomeration behaviour of wheat straw**, Biomass & Bioenergy 182 (2024) 107077

- M. H. H. Fechter, A. S. Bräuer: **Vapor–liquid equilibria of binary systems consisting of nitrogen and n-tridecane, n-pentadecane, n-hexadecane, and n-heptadecane at pressures of 1.5–9 MPa and temperatures of 303–633 K determined with a Raman spectroscopy-coupled microfluidic device**, *Journal of Chemical & Engineering Data* 68 (2023) 1976–1988
- K. Schaldach, V. Herdegen, A. S. Bräuer, Do Nang Vinh, Nguyen Van Toan, Le Van Tam: **Sustainable value added material use of occurring by-products from sugar and rice production in Vietnam**, *Science of the Total Environment* 835 (2022) 155414
- M. H. H. Fechter, J. Koschack, A. S. Bräuer: **Vapor-Liquid Equilibria of the systems 1-octanol/nitrogen and 1-octanol/oxygen at pressures from 3 to 9 MPa and temperatures up to 613 K – measured in a microcapillary with Raman spectroscopy**, *Fuel* 323 (2022) 124352

PROF. ALEXANDROS CHARITOS

- L. Blenau, D. Vogt, O. Lonski, A. Abuzar, O. Fabrichnaya, A. Charitos: **Development of a process to recycle Nd-FeB permanent magnets based on the CaO-Al₂O₃-Nd₂O₃ slag system**, *Processes* 11 (2023) 1783
- M. Ilatovskaia, O. Lonski, M. Löffler, L. Blenau, A. Charitos, O. Fabrichnaya: **Phase Relations in the CaO-Nd₂O₃-Al₂O₃ System in Application for Rare Earth Recycling**, *JOM* 75 (2023) 1993–2002
- A. Schmidt, B. M. Guy, V. Montenegro, M. Reuter, A. Charitos, M. Stelter, A. Richter: **Flue Dust Reactions and Sticking Mechanisms in a Copper Flash Smelting Furnace Waste Heat Boiler: A Sampling Study**, *Journal of Sustainable Metallurgy* 9 (2023) 848–859
- C. G. Gumban, J. Hubáľková, B. Fankhänel, A. Charitos, C. G. Aneziris, C. Voigt: **Wettability of Copper on Industrial Filter Materials**, *Proceedings of the Copper Alloys 2022 conference* (2022) Düsseldorf, Germany
- A. Schmidt, V. Montenegro, A. Charitos, M. Reuter, M. Stelter, A. Richter: **CFD model on dust sulphatisation and accretion formation in an industrial-scale copper flash smelting furnace waste heat boiler**, *Proceedings of the 22nd International Copper Conference (Copper 2022)* Santiago de Chile, Chile
- L. Blenau, S. Sander, S. Fuhrmann, A. Charitos: **Valorisation of copper slag: Zero-Waste Production of Pig Iron and Glass Fibers**, *Proceedings of the 22nd International Copper Conference (Copper 2022)* Santiago de Chile, Chile
- L. Felkl, M. Stelter, A. Charitos: **Modelling and experimental investigation concerning the reduction of a “black copper smelter” anode furnace slag and the production of a copper-rich alloy**, *Proceedings of the 22nd International Copper Conference (Copper 2022)* Santiago de Chile, Chile

- F. Bürkle, M. Förste, K. Dadzis, I. Tsiapkinis, O. Pätzold, A. Charitos, M. Dues, J. Czarske, L. Büttner: **Application of optical velocity measurements including a novel calibration technique for micron-resolution to investigate the gas flow in a model experiment for crystal growth**, Flow Measurement and Instrumentation 88 (2022) 102258
- A. Schmidt, V. Montenegro, M. Reuter, A. Charitos, M. Stelter, A. Richter: **Transient CFD Calculation of Accretion Formation in a Copper Waste Heat Boiler**, Metallurgical and Materials Transactions B 53 (2022) 3765–3774
- L. Blenau, M. Wexler, J. Mahl, W. Baumann, D. Stapf, A. Charitos: **Utilization of Carbon Fibers (CF) as an Alternative Reduction Agent for Slag Valorisation Processes**, Proceedings of the 61st conference of metallurgists (COM 2022) Montreal, Canada
- O. Pätzold, K. Dadzis, C. Kirmse, D. Weik, L. Büttner, J. Czarske, A. Charitos: **Model experiments for melt flow in Czochralski growth of silicon**, Journal of Crystal Growth 588 (2022) 126656
- C. Voigt, A. Schramm, B. Fankhänel, E. Schmid, P. Malczyk, J. Hubáľková, M. Stelter, A. Charitos, C. G. Aneziris: **Preparation of Ceramic Foam Filters With a Lithium-Containing Surface**, Metallurgical and Materials Transactions B 53 (2022) 2349–2363
- A. Kandalam, M. Stelter, M. Reinmöller, M. A. Reuter, A. Charitos: **Determining the Bubble Dynamics of a Top Submerged Lance Smelter**, REWAS 2022: Developing Tomorrow's Technical Cycles (Volume I). The Minerals, Metals & Materials Series (2022) 541–551

PROF. MARTIN GRÄBNER

- F. Küster, C. Scharm, F. An, M. Reinmöller, O. Volkova, A. Richter, S. Guhl, M. Gräbner: **Direct reduction of iron ore pellets by N₂/H₂ mixture: In-situ investigation and modelling of the surface temperature during reduction progression**, Minerals Engineering 215 (2024) 108827
- F. Compart, M. Gräbner: **Using Yield and Entropy-Based Characteristics for Circular Economy**, Circular Economy and Sustainability 4 (2024) 2169–2197
- P. Gehre, A. Kitze, S. Guhl, M. Gräbner, C. G. Aneziris: **Carbonized wood and sunflower seed hull pellets as a substitution for carbon black for the production of MgO-C refractories**, Open Ceramics 17 (2024) 100550
- C. Conrad, M. Neumann, M. Freiwald, P. Gehre, R. Schimpke, A. Priese, C. Aneziris: **Calcium zirconate flame-sprayed structures for possible electrolyte applications**, Ceramics International 48 (2022) 13895–13905

PROF. GERHARD HEIDE

- Y. Ramdani, G. Heide: **Historisches Glas. Die „Sprache der Objekte“ aus naturwissenschaftlicher Sicht**, In: A. C. Cremer (Hrsg.) Glas in der Frühen Neuzeit: Herstellung, Verwendung, Bedeutung, Analyse, Bewahrung. Heidelberg University Publishing 6 (2022) 643–653

PROF. BJÖRN KIEFER, DR. MARTIN ABENDROTH

- S. T. Firouzeh, M. Abendroth, U. Fischer, C. G. Aneziris, B. Kiefer: **Utilization of a Miniaturized Brazilian Disc Test for Strength Measurements of C-Bonded Alumina Filter Materials**, Advanced Engineering Materials 24 (2022) 202101081
- R. W. Schirmer, A. Seupel, M. Selent, M. Abendroth, B. Kiefer: **Anwendung eines gradientenerweiterten Kriechschädigungsmodells zur Beschreibung des Versagensverhaltens von P91 im Small Punch Test**, 54. Tagung des DVM Arbeitskreises Bruchmechanik und Bauteilsicherheit, 22.–23.02.2022, Berlin, DVM-Bericht 254 (2022) 73–82

PROF. EDWIN KROKE

- A. Stapf, N. Zomack, C. Bellmann, N. Schubert, A.-L. Neumann, F. Buchholz, T. Kollek, A. Helfricht, M. Mohammadi, A. Weber, M. Müller, E. Kroke: **Aqueous HF-(HCl)-Cl₂ Mixtures for Saw-Damage Removal and Spray Texturing of Monocrystalline Silicon Solar Cells**, IEEE Journal of Photovoltaics 14 (2024) 112–120
- C.-C. Höhne, J. Limburger, C. Vogt, T. Wagener, A. König, E. Kroke: **s-Triazine phosphonates as flame retardants for polyurethane and polyisocyanurate rigid foams**, Polymer Degradation and Stability 228 (2024) 110889
- N. Schubert, A. Stapf, A. Lißner, N. Zomack, A.-L. Neumann, E. Kroke: **Analysis of silicon surfaces etched in aqueous HF-(HBr)-Br₂-mixtures**, Chemistry of Inorganic Materials 3 (2024) 100063
- S. Knerr, E. Brendler, R. Gericke, E. Kroke, J. Wagler: **Two Modifications of Nitrilotris(methylenephosphinic) Acid: A Polymeric Network with Intermolecular (O=P-O-H)₃ vs. Monomeric Molecules with Intramolecular (O=P-O-H)₃ Hydrogen Bond Cyclotrimers**, Crystals 14 (2024) 662

- O. C. Ernst, D. Uebel, R. Brendler, K. Kraushaar, M. Steudel, J. Acker, E. Kroke: **Silicon-28-Tetrafluoride as an Educt of Isotope-Engineered Silicon Compounds and Bulk Materials for Quantum Systems**, *Molecules* 29 (2024) 4222
- S. Riedel, E. Brendler, R. Gericke, E. Kroke, J. Wagler: **Cyanopyridine adducts of SiF₄ and SiCl₄**, *Zeitschrift für Naturforschung B* 79 (2024) 675–685
- M. K. Baumhardt, S. Schwarzer, J. Wagler, S. Knerr, E. Kroke: **Synthesis of New Silylated and N-Si-N bridged Urea Derivatives from Aminosilanes and Diisocyanates**, *Chemistry – An Asian Journal* 19 (2024) e202400854
- M. Friebel, U. Böhme, E. Kroke: **A perphenylated PSi₄P-chain: Synthesis and characterization of 1,4-bis(diphenylphosphanyl)octaphenyl-n-tetrasilane**, *Journal of Organometallic Chemistry* 983 (2023) 122539
- M. Herbig, E. Kroke: **Synthesis and spectroscopic properties of iminosilanes**, *Chemical Data Collections* 44 (2023) 100992
- K. Krupinski, J. Wagler, E. Brendler, E. Kroke: **A Non-Hydrolytic Sol–Gel Route to Organic-Inorganic Hybrid Polymers: Linearly Expanded Silica and Silsesquioxanes**, *Gels* 9 (2023) 291
- M. Herbig, E. Kroke, J. Wagler: **Molecular Structures and Intermolecular Hydrogen Bonding of Silylated 2-Aminopyrimidines**, *Crystals* 13 (2023) 990
- C. Vogt, C.-C. Höhne, J. Limburger, A. König, T. Wagener, E. Kroke: **Asymmetrically Substituted s-Triazine Phosphonates by one-Step Synthesis**, *ChemistryOpen* 12 (2023) e202300075
- S. Riedel, M. Gerwig, D. Gerlach, E. Brendler, R. Gericke, E. Kroke, J. Wagler: **The Hexacoordinate Si Complex SiCl₄(4-Azidopyridine)₂ — Crystallographic Characterization of Two Conformers and Probing the Influence of SiCl₄-Complexation on a Click Reaction with Phenylacetylene**, *Inorganics* 11 (2023) 473
- S. Knerr, M. Herbig, E. Kroke: **Thermodynamics of transamination reactions with aminotrimethylsilanes and diaminodimethylsilanes**, *Main Group Metal Chemistry* 46 (2023) 20228044
- S. Schuschnigg, M. Hufnagl, C. Holzer, F. Eder, E. Kroke, S. Schallmeiner, C. Regula, Y. Hamedi, C. Gorsche, E. Morganti, K. Seidler: **Novel Additive Manufacturing Materials for Waste Heat Deduction**, *Advanced Engineering Materials* 25 (2023) 2200671
- M. Friebel, U. Böhme, E. Kroke: **Linear Phenylsilanes with PSi₄P, PSi₅P, and Si₇ Backbones**, *European Journal of Inorganic Chemistry* 2022 (2022) e202200087

PROF. LUTZ KRÜGER

- M. Mandel, M. Fritzsche, S. Henschel, L. Krüger: **Lamb wave-based corrosion source location on a plate of magnesium alloy WZ73 using the acoustic emission technique**, Corrosion Communications 13 (2024) 60–67
- M. Mandel, M. Fritzsche, L. Krüger: **Corrosion source location on a plate-like structure made of the Mg alloy WZ73**, 36th Conference of the European Working Group on Acoustic Emission, e-Journal of Nondestructive Testing 29 (2024)
- C. Hempel, M. Mandel, C. Schimpf, L. Krüger: **Low-term low-temperature hot corrosion of PTA welded René 41 superalloy under marine-like environments**, Materials and Corrosion 73 (2022) 1369–1382
- P. Malczyk, M. Mandel, T. Zienert, C. Weigelt, L. Krüger, J. Hubalkova, G. Schmidt, C. Aneziris: **Electrochemical studies of stainless steel and stainless steel-TiO₂ composite in reference to molten aluminum alloy using a solid-state BaCO₃ electrolyte**, Materials 15 (2022) 6723

JUN.-PROF. CHRISTIAN KUPSCH

- M. Wolf, P. Hoffrogge, E. Kühnicke, P. Czurratis, C. Kupsch: **Inspection of Multilayered Electronic Devices via Scanning Acoustic Microscopy Using Synthetic Aperture Focusing Technique**, In: 2022 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS) IEEE (2022) 1–4

PROF. DIRK C. MEYER

- C. Ludt, D. C. Meyer, M. Zschornak: **Ferroelectric Phase Transition in Barium Titanate Revisited with Ab Initio Molecular Dynamics**, Materials 17 (2024) 1023
- T. Weigel, C. Richter, M. Nentwich, E. Mehner, V. Garbe, L. Bouchenoire, D. Novikov, D. C. Meyer, M. Zschornak: **Picometer atomic displacements behind ferroelectricity in the commensurate low-temperature phase in multiferroic YMn₂O₅**, Physical Review B 109 (2024) 054101

- M. Nentwich, M. Zschornak, T. Weigel, T. Köhler, D. Novikov, D. C. Meyer, C. Richter: **Treatment of multiple-beam X-ray diffraction in energy-dependent measurements**, Journal of Synchrotron Radiation 31 (2024) 28–34
- T. Köhler, M. Zschornak, C. Röder, J. Hanzig, G. Gärtner, T. Leisegang, E. Mehner, H. Stöcker, D. C. Meyer: **Chemical environment and occupation sites of hydrogen in LiMO₃**, Journal of Materials Chemistry C 11 (2023) 520–538
- T. Köhler, P. Reichart, E. Brendler, A. Vyalikh, A. Klostermeier, Z. Siketić, E. Mehner, G. Dollinger, H. Stöcker, D. C. Meyer: **On the quantification of hydrogen in lithium metal oxides**, Journal of Materials Chemistry A 11 (2023) 21183–21202
- T. Weigel, C. Ludt, T. Leisegang, E. Mehner, S. Jachalke, H. Stöcker, T. Doert, D. C. Meyer, M. Zschornak: **Spontaneous polarization and pyroelectric coefficient of lithium niobate and lithium tantalate determined from crystal structure data**, Physical Review B 108 (2023) 054105
- T. Weigel, E. Mehner, H. Stöcker, D. C. Meyer, J. Götze, J. Hanzig: **Crystal Structure of Gd(Ca_{3.319}Sr_{0.681})O[BO₃]₃ and Gd(Ca_{2.592}Sr_{1.408})O[BO₃]₃**, Crystal Research and Technology 58 (2023) 2200255
- A. Mohammad, T. Köhler, S. Biswas, H. Stöcker, D. C. Meyer: **A Flexible Solid-State Ionic Polymer Electrolyte for Application in Aluminum Batteries**, ACS Applied Energy Materials 6 (2023) 2914–2923
- V. Garbe, A. Schmid, S. Seidel, B. Abendroth, H. Stöcker, P. Doering, D. C. Meyer, J. Heitmann: **Au-Free Ohmic Contacts and Their Impact on Sub-Contact Charge Carrier Concentration in AlGaIn/GaN Heterostructures**, physica status solidi (b) 259 (2022) 2100312
- M. Zschornak, D. C. Meyer, P. Paufler: **Crystallography in Germany rejuvenated**, Zeitschrift für Kristallographie – Crystalline Materials 237 (2022) 83–84
- M. Nentwich: **Structure relations in the family of the solid solution Hf_xZr_{1-x}O₂**, Zeitschrift für Kristallographie – Crystalline Materials 237 (2022) 141–157
- T. Weigel, J. Hanzig, E. Mehner: **The crystal structure of single crystalline PrCa₄O[BO₃]₃**, Zeitschrift für Kristallographie – Crystalline Materials 237 (2022) 159–166
- C. Ludt, M. Zschornak: **Electronic structure of the homologous series of Ruddlesden–Popper phases SrO(SrTiO₃)_n (n = 0–3, ∞)**, Zeitschrift für Kristallographie – Crystalline Materials 237 (2022) 201–214

PROF. SERGUEI MOLODTSOV

- Y.-M. Li, M. Momeni, H. N. D. Duc, S. v. Bahder, F. Roth, W. Münchgesang, M. Danziger, W. Voitus, D. Nuss, C. Sennewald, T. Leisegang: **Resource-Efficient Electrodes with Metallized Woven-Glass-Grid Current Collectors for Lithium-Ion Batteries**, ChemSusChem (2025) e202402233
- L. Wenthaus, N. M. Kabachnik, M. Borgwardt, S. Palutke, D. Kutnyakhov, F. Pressacco, M. Scholz, D. Potorochin, N. Wind, S. Düsterer, G. Brenner, O. Gessner, S. Molodtsov, W. Eberhardt, F. Roth: **Insights into the laser-assisted photoelectric effect from solid-state surfaces**, Physical Review B 110 (2024) 235406
- M. Knupfer, F. Jerzembeck, N. Kikugawe, F. Roth, J. Fink: **Propagating charge carrier plasmon in Sr₂Ru₂O₄**, Physical Review B 106 (2022) L241103
- D. Potorochin, R. Kurlito, O. Clark, E. D. L. Rienks, J. Sánchez-Barriga, F. Roth, V. Voroshnin, A. Federov, W. Eberhardt, B. Büchner, J. Fink: **Lifetime of quasi-particles in the nearly-free electron metal Sodium**, Physical Review B 106 (2022) 125138
- M. Heber, N. Wind, D. Kutnyakhov, F. Pressacco, T. Arion, F. Roth, W. Eberhardt, K. Rossnagel: **Multispectral time-resolved energy-momentum microscopy using high-harmonic extreme ultraviolet radiation**, Review of Scientific Instruments 93 (2022) 083905
- L. Graf, F. Lui, M. Naumann, F. Roth, B. Debnath, B. Büchner, Y. Krupskaya, A. Popov, M. Knupfer: **Optical anisotropy and momentum dependent excitons in Dibenzopentacene single crystals**, ACS Omega 7 (2022) 21183
- K. Baumgärtner, M. Reuner, C. Metzger, D. Kutnyakhov, M. Heber, F. Pressacco, C. H. Min, T. R. F. Peixoto, M. Reis, C. Kim, W. Lu, R. Shayduk, M. Izquierdo, G. Brenner, F. Roth, A. Schöll, S. Molodtsov, W. Wurth, F. Reinert, A. Madsen, D. Popova-Gorelova, M. Scholz: **Ultrafast molecular orbital tomography of a pentacene thin film using time-resolved momentum microscopy at a free-electron laser**, Nature Communications 13 (2022) 2741

PROF. THOMAS NAGEL

- N. Grunwald, C. Lehmann, J. Maßmann, D. Naumov, O. Kolditz, O., T. Nagel: **Non-isothermal two-phase flow in deformable porous media: systematic open-source implementation and verification procedure**, Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources 8 (2022) 107

PROF. FELIX A. PLAMPER

- S. Gersdorf, V. Schildknecht, E. Schumann, S. Seidel, B. Torger, Q. Prasser, N. Frenzel, A. Lißner, J. Heitmann, F. Mertens, G. Frisch, F. A. Plamper: **Aqueous Polyelectrolyte Electrodeposition: The Effects of Alkyl Substitution and Varying Supporting Electrolyte Concentrations on the Deposition Efficiency**, ChemElectroChem 10 (2023) e202300217
- D. Steinbach, R. Neubert, S. Gersdorf, C. Schimpf, D. Erb, D. Rafaja, F. A. Plamper, F. Mertens: **Morphology and orientation change of layer-by-layer deposited one- and two-dimensional coordination polymer nanocrystals containing rhodium paddle-wheel units**, CrystEngComm 25 (2023) 4568–4581
- Q. Prasser, T. Fuhs, B. Torger, R. Neubert, E. Brendler, C. Vogt, F. Mertens, F. A. Plamper: **Nonequilibrium Colloids: Temperature-Induced Bouquet Formation of Flower-like Micelles as a Time-Domain-Shifting Macromolecular Heat Alert**, ACS Applied Materials & Interfaces 15 (2023) 57950–57959
- Q. Prasser, D. Steinbach, A. S. Münch, R. Neubert, C. Weber, P. Uhlmann, F. Mertens, F. A. Plamper: **Interfacial Rearrangements of Block Copolymer Micelles Toward Gelled Liquid-Liquid Interfaces**, Small 18 (2022) e2106956

PROF. OLIVER RHEINBACH

- B. Kiefer, S. Prüger, O. Rheinbach, F. Röver: **Monolithic Parallel Overlapping Schwarz Methods in Fully-Coupled Nonlinear Chemo-Mechanics Problems**, Computational Mechanics 71 (2023) 765–788
- A. Heinlein, A. Klawonn, O. Rheinbach, F. Röver: **A Three-Level Extension for Fast and Robust Overlapping Schwarz (FROSch) Preconditioners with Reduced Dimensional Coarse Space**, In: Springer series: Domain Decomposition Methods in Science and Engineering XXVI. Proc. 26th Internat. Conf. on Domain Decomposition Methods, Hong Kong. Ed. by S. Brenner, E. Chung, A. Klawonn, F. Kwok, J. Xu, and J. Zou (2023)
- A. Heinlein, O. Rheinbach, F. Röver: **Parallel Scalability of Three-Level FROSch Preconditioners to 220000 Cores using the Theta Supercomputer**, SIAM Journal on Scientific Computing 45 (2022) 173–198

PROF. BJÖRN SPRUNGK

- H. Höllwarth, S. A. H. Sander, M. Werner, S. Fuhrmann, B. Sprungk: **Simulation of phase separation in Na₂O-SiO₂ glasses under uncertainty**, Journal of Non-Crystalline Solids 621 (2023) 122534

PROF. OLENA VOLKOVA

- X. Wei, A. Perminov, M. O. Ilatovskaia, S. Dudczig, E. Storti, O. Volkova: **Refractories for the processing of Fe-TiC alloy**, Ceramics International 48 (2022) 34976–34986
- A. Perminov, G. Bartzsch, A. Asgarian, K. Chattopadhyay, O. Volkova: **Utilization of L-PBF process for manufacturing an in-situ Fe-TiC metal matrix composite**, Journal of Alloys and Compounds 922 (2022) 166281
- A. Yehorov, B. Bachmann, X. Wei, G. Bartzsch, M. R. Bellé, O. Volkova: **Thermophysical properties of liquid CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO-TiO₂-V₂O₃ slags**, Journal of Non-Crystalline Solids 596 (2022) 121865
- X. Wei, O. Kovtun, A. Yehorov, C. G. Aneziris, O. Volkova: **Selenium as a new decopperization approach for steel scrap**, Materials Letters 323 (2022) 132543
- X. Wei, E. Storti, S. Dudczig, A. Yehorov, O. Fabrichnaya, C. G. Aneziris, O. Volkova: **The interaction of carbon-bonded ceramics with Armco iron**, Journal of the European Ceramic Society 42 (2022) 4676–4685
- X. Wei, S. Dudczig, E. Storti, M. Ilatovskaia, R. Endo, C. G. Aneziris, O. Volkova: **Interaction of molten Armco iron with various ceramic substrates at 1600 °C**, Journal of the European Ceramic Society 42 (2022) 2535–2544
- D. Chebykin, T. Dubberstein, H.-P. Heller, O. Fabrichnaya, O. Volkova: **Investigation of wetting behavior of Cr-Mn-Ni steels on hBN-SiC-ZrO₂-substrate**, Ceramics International 48 (2022) 3771–3778
- X. Wei, A. Yehorov, E. Storti, S. Dudczig, O. Fabrichnaya, C.G. Aneziris, O. Volkova: **Phenomenon of Whiskers Formation in Al₂O₃-C Refractories**, Advanced Engineering Materials 24 (2022) 2100718
- D. D. R. Silva, N. C. Heck, A. C. F. Vilela, H.-P. Heller, O. Volkova: **Water-CaO-Al₂O₃ Join Interaction: Crystallization Behavior Investigation Using the Single Hot Thermocouple Technique (SHTT)**, Crystal Research and Technology 57 (2022) 2100003

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

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
Web: 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

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

Dr. Barbara Abendroth und Dr. Muthu Vallinayagam bei Arbeiten mit Laserschutzbrillen an der CB-PLD-Anlage im ZeHS, Labor EG.221 © Konstantin Börner.

Autoren und Bildrechte

- 1 Dirk C. Meyer, Medienzentrum
4–5 Hartmut Stöcker
6–10 Dirk C. Meyer, Max Hörügel, Theresa Lemser, Cinector GmbH, Sven Jachalke
11 Dirk C. Meyer, Theresa Lemser
12–13 Max Stöber, Max Hörügel, Hartmut Stöcker
14 Dirk C. Meyer, Matthias Zschornak, Tina Weigel
15 Marco Roscher
16–19 Michael Höck, Barbara Abendroth, Hartmut Stöcker
20–21 Heinle, Wischer und Partner Freie Architekten, Dirk C. Meyer
22–24 Axel Anklam, Dirk C. Meyer
26–27 Hartmut Stöcker
20–29 Martin Abendroth, Björn Kiefer
30–31 Sebastian Aland
32–33 Christos G. Aneziris, Patrick Gehre, Vasileios Rongos
34–35 Thomas A. Bier, Marie Oppelt
36–37 Horst Biermann, Detlev Müller, Jan Böcker
38–39 Andreas S. Bräuer, Detlev Müller, Michael Fechter, Roland Haseneder
40–41 Tobias Fieback, Ravi Govindram Kewalramani
42–43 Edwin Kroke, Gerhard Heide, Kevin Keller, Marcus Schwarz
44–45 Sindy Fuhrmann, Detlev Müller
46–47 Martin Gräbner, IEC
48–49 Michael Höck
50–51 Yvonne Joseph, Christine Hecker
52–53 Edwin Kroke
54–55 Lutz Krüger, Sebastian Henschel, Markus Radajewski, Marcel Mandel
56–57 Christian Kupsch, PVA Tepla Analytical Systems GmbH
58–59 Sven Kureti, Detlev Müller, Christopher Zschiesche
60–61 Andreas Leineweber, Mario Kriegel
62–63 Florian Mertens, Detlev Müller, Bianca Störr
64–65 Dirk C. Meyer, Erik Mehner, Hartmut Stöcker
66–67 Serguei Molodtsov, Friedrich Roth
68–69 Felix Plamper, Richard Neubert
70–71 Oliver Rheinbach
72–73 Andreas Richter
74–75 Björn Sprungk, Detlev Müller
76–77 Matthias Zschornak, Hartmut Stöcker, Melanie Nentwich, Sven Jachalke
78–79 Hartmut Stöcker
81 Saeed Motaragheb Jafarpour, Horst Biermann, Andreas Leineweber
82–83 Anke Dalke, Horst Biermann
84–85 Carsten Drebenstedt, Jens Grigoleit
87 Christian Kupsch, Elfgard Kühnicke
88–89 Lutz Krüger, Christian Kupsch, Patrick Morgenstern
90–91 Felix Plamper, Richard Neubert
92–95 Andreas Bräuer
96–97 Anke Dalke, Saeed Motaragheb Jafarpour, Horst Biermann
98–99 Dirk C. Meyer, Hartmut Stöcker, Sven Jachalke
100–101 Anke Dalke, Horst Biermann
102–103 Martin Gräbner
104–105 Hartmut Stöcker
106–107 Barbara Abendroth
110 Horst Biermann, Sebastian Henkel, Carl Wolf
111 Björn Kiefer, Martin Abendroth
112 Christian Kupsch, Mario Wolf
113 Florian Mertens, Andreas Lißner, Bianca Störr
114 Felix Plamper, Richard Neubert
115 Sven Kureti, Christopher Zschiesche, Stefan Nottelmann, Philip Schubert
116 Florian Mertens, Sven Kureti, Andreas Lißner
117 Edwin Kroke, Konstantin Kraushaar
118 Andreas Leineweber, Mario Kriegel
119 Serguei Molodtsov, Friedrich Roth
120 Dirk C. Meyer, Hartmut Stöcker
121 Tobias M. Fieback, Rhena Wulf
122 Sindy Fuhrmann, Leonie Tipp
123 Christos G. Aneziris, Nora Brachhold
124 Dirk C. Meyer, Matthias Zschornak, Tina Weigel
125 Martin Gräbner, Marcus Schreiner, Anja Guhl
126 Dirk C. Meyer, Barbara Abendroth
127 Edwin Kroke, Konstantin Kraushaar
128 Henning Zeidler, Rezo Aliyev
129 Dirk C. Meyer, Hartmut Stöcker
130 Dirk C. Meyer, Hartmut Stöcker
131 Christos G. Aneziris, Christian Weigelt
132 Lutz Krüger, Markus Radajewski
134–137 Theresa Lemser, Hartmut Stöcker

ISSN: 2752-2903



TU Bergakademie Freiberg
Zentrum für effiziente Hochtemperatur-Stoffwandlung
Winklerstraße 5
09596 Freiberg

tu-freiberg.de/zehs