

SFB 920



Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration –
ein Beitrag zu Zero Defect Materials

NEWSLETTER

8 (1/2015)

DFG Deutsche
Forschungsgemeinschaft



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG
Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



LIEBE LESERINNEN UND LESER,

der Sonderforschungsbereich SFB 920 „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration - ein Beitrag zu Zero Defect Materials“ startet in den zweiten Projektzeitraum: Aufgrund hervorragender Forschungsergebnisse in den ersten vier Jahren bewilligte die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) eine Fortsetzung des Vorhabens bis 2019.

Das engagierte Team aus Wissenschaftlern, Nachwuchswissenschaftlern und Doktoranden hat sich neue Ziele gesteckt: In den kommenden vier Jahren stehen insbesondere funktionale Schichten für eine Multifiltration von unterschiedlichen Einschlüssen im Mittelpunkt.

Über diese und weitere Ereignisse informiert Sie die aktuelle Ausgabe unseres Newsletters. Weitere Informationen finden Sie auf unserer Homepage unter <http://sfb920.tu-freiberg.de>.

Viel Freude beim Lesen!

INHALT

Aktuelles aus dem SFB 920

Mit hervorragender Bewertung Start in den zweiten Projektzeitraum 2

Weitere aktuelle Meldungen 3

Aus den Arbeitsgruppen 4

Aus der Forschung

Einfluss nichtmetallischer Einschlüsse auf das Ermüdungsverhalten 6

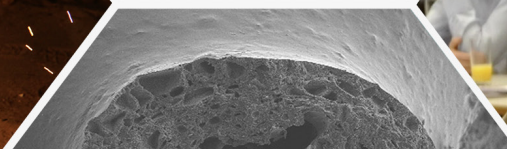
Numerische Modellierung der Filtration innerhalb keramischer Filterstrukturen 7

Aktuelle Publikationen 8

Termine und Impressum 10

Prof. Dr.-Ing. habil. Christos G. Aneziris
Sprecher des SFB 920

Prof. Dr.-Ing. habil. Horst Biermann
stellv. Sprecher des SFB 920



MIT HERVORRAGENDER BEWERTUNG START IN DEN ZWEITEN PROJEKTZEITRAUM

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat die Fortsetzung des Sonderforschungsbereichs 920 „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration - ein Beitrag zu Zero Defect Materials“ bewilligt. Bis 2019 werden 22 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus elf Instituten von vier Fakultäten der TU Bergakademie Freiberg gemeinsam an der gezielten Multifiltration von nichtmetallischen Einschlüssen unterschiedlicher Chemie und Kristallsysteme aus Metallschmelzen forschen.

Seit vier Jahren forscht ein engagiertes Team aus Wissenschaftlern und Doktoranden der TU Bergakademie Freiberg erfolgreich an der Einstellung exzellenter, an die Bauteilbeanspruchung angepasster funktionaler und adaptiver mechanischer Eigenschaften für einen Innovationsschub in Sicherheits- und Leichtbaukonstruktionen. Als Ergebnis der erfolgreichen Forschungsarbeit im SFB 920 konnten bis heute **mehr als 140 wissenschaftliche Beiträge** in Fachzeitschriften und Konferenzbänden publiziert werden. Davon sind 85 Veröffentlichungen in Publikationsorganen mit einer wissenschaftlichen Qualitätssicherung erschienen, von denen 70 % als vernetzte Publikationen der Teilprojekte untereinander aufgeführt werden können. Die Doktoranden waren an mehr als 80 % der Publikationen als Erstautoren beteiligt. Im Jahr 2014 wurden bereits drei Patente im Projektbereich „Filterwerkstoff“ erteilt.

Bereits im Februar 2015 wurden die bisherigen Ergebnisse und die geplante Forschungsarbeit im SFB 920 von einem Gutachtergremium der DFG mit „**sehr gut bis exzellent**“ bewertet. Auf dieser Grundlage entschied der Bewilligungsausschuss der DFG am 21. Mai 2015 über die Fortsetzung der Förderung des SFB 920 mit rund 9,5 Millionen Euro.

Ziel der Forschungsarbeiten im SFB 920 ist die erhebliche Reduzierung anorganischer nichtmetallischer Einschlüsse

in Metallschmelzen durch den Einsatz intelligenter Filterwerkstoffe bzw. Filtersysteme. „Damit kommen wir dem Wunsch der Industrie nach einem höheren Reinheitsgrad und geringeren Ausschussraten nach. Die neuen Filtersysteme können unerwünschte anorganische nichtmetallische Einschlüsse in der Metallmatrix erheblich reduzieren. Mit der damit verbundenen Verbesserung der mechanischen Eigenschaften metallischer Bauteile können wir einen Beitrag zum Recycling von metallischen Werkstoffen leisten“, so Prof. Christos G. Aneziris, Sprecher des Sonderforschungsbereiches,

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

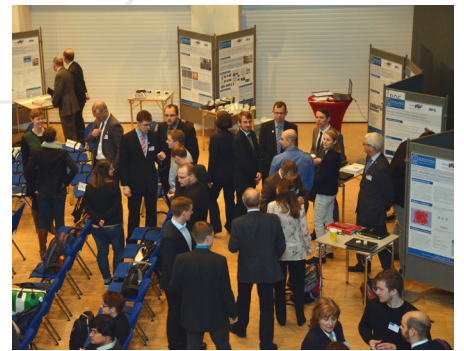


Foto: Zwei Tage präsentierten sich Wissenschaftler und Doktoranden mit ihren Forschungsergebnissen den Gutachtern der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

Energieaufwandes und der CO₂-Emissionen rückt damit in greifbare Nähe. Dafür arbeiten Wissenschaftler, Doktoranden und Nachwuchswissenschaftler auf den Gebieten der Materialforschung, Modellierung, Verfahrenstechnik, Prüftechnik und Visualisierung eng zusammen.

In den kommenden vier Jahren werden insbesondere funktionale Schichten für eine Multifiltration von unterschiedlichen Einschlüssen untersucht. Dabei wird angestrebt, die Reduzierung von Einschlüssen direkt nach ihrer Genese mit Hilfe metastabiler Phasen in den funktionalen Schichten zu ermöglichen. ■

WEITERE AKTUELLE MELDUNGEN

Zum fünften Mal luden der SFB 920 und das DFG-Schwerpunktprogramm 1418 „FIRE“ sowie der DGM/DKG-Fachausschuss „Feuerfestwerkstoffe“ und der VDEh zum **Freiberger Feuerfestforum** ein. Mehr als 100 Gäste aus 14 Ländern nahmen an der Tagung teil.

Schwerpunkt der Veranstaltung waren wirtschaftliche Entwicklungen sowie aktuelle Forschungstendenzen im Bereich Feuerfest in Schwellenländern, insbesondere Indien. Das Land gilt nach China und Japan als drittgrößter Verbraucher von

Feuerfestmaterialien und -komponenten. Das erwartete Wachstum der indischen Stahlindustrie wird die derzeit noch moderate Nachfrage nach Feuerfestlösungen vermutlich erheblich steigern. Dabei werden Lösungen für eine hohe Reinheit von Metallschmelzen von großer Bedeutung sein. Zu den Vortragenden gehören u. a. **Anirban Dasgupta (Executive Director des Indian Refractory Makers Association) sowie Dr. Arup Ghosh (CSIR-Central Glass & Ceramic Research Institute, Indien).** ■

Forschungsergebnisse des SFB 920 zur Verbesserung von Datenkompressionsverfahren haben auf dem 4. IEEE Symposium on Large Data Analysis and Visualization (LDAV) in Paris eine internationale Auszeichnung erhalten. Der Beitrag von **Henry Lehmann und Prof. Bernhard Jung (Teilprojekt S02)** wurde mit einer Best Paper Honorable Mention geehrt.

Die Autoren setzen sich im Rahmen der Simulation und Visualisierung u. a. von Filtrationsprozessen mit der Weiterentwicklung so genannter „in situ“-Datenkompressionsverfahren auseinander.

Diese Verfahren reduzieren große Datenmengen noch während der Simulationsrechnung und erleichtern damit ein weitgehend verlustfreies Laden und Visualisieren von Datensätzen.

Henry Lehmann und Bernhard Jung haben neue Ansätze entwickelt, die es erlauben, Daten in einem geringeren Umfang und in einem hierarchischen Format zu speichern. Auf diese Weise können selbst große Datensätze schneller gespeichert und schneller visualisiert werden, ohne auf eine Darstellung in verschiedenen, vor allem höheren Auflösungsstufen zu verzichten. ■

Die Erkennung und Bewertung von Sicherheitsrisiken in Industrieunternehmen waren Thema eines Gastseminars für Doktoranden, Teilprojektleiter und Mitarbeiter des SFB 920. **Frau Dr. Olga Aneziris** vom Institute of Nuclear Technology - Radiation Protection, Sector of Industrial Risk des N.C.S.R. „DEMOKRITOS“ in Athen, Griechenland folgte einer Einladung als Gastwissenschaftlerin an die TU Bergakademie Freiberg.

Am Beispiel der Aluminiumindustrie stellte sie Methoden und Verfahren vor, wie sich für verschiedene Prozessschritte und Arbeitsplätze Sicherheitsrisiken

erkennen und quantifizieren lassen. Auf diese Weise können für jede Risikoklasse geeignete Sicherheitsmaßnahmen abgeleitet werden.

Die Aluminiumindustrie hat einen besonderen inhaltlichen Bezug zu den Forschungsarbeiten des SFB 920: Bei der Herstellung von Bauteilen und Komponenten aus Aluminium, z. B. für den Flugzeug- und Automobilbau, kann eine effektive Metallschmelzefiltration zu einer signifikanten Verbesserung der Qualität, zu geringeren Ausschussraten und verringerten Energie-, Metall-, Form- und Lohnkosten beitragen. ■

5. FREIBERGER FEUERFESTFORUM



Foto (v. l. n. r.): Dr. C. Wöhrmeyer, Prof. Dr. H. Jansen, Prof. Dr. T. Bier, Prof. Dr. C. G. Aneziris, Prof. Dr. P. Quirnbach, Dr. P. Gehre

KONFERENZBEITRAG AUSGEZEICHNET

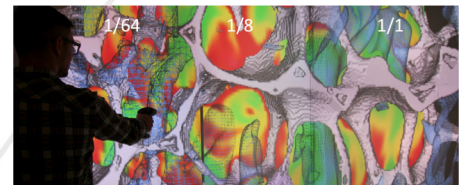


Abb.: Interaktive Visualisierung eines simulierten Filtrationsprozesses in der CAVE in verschiedenen Auflösungsstufen

SICHERHEITSRISIKEN IN DER INDUSTRIE



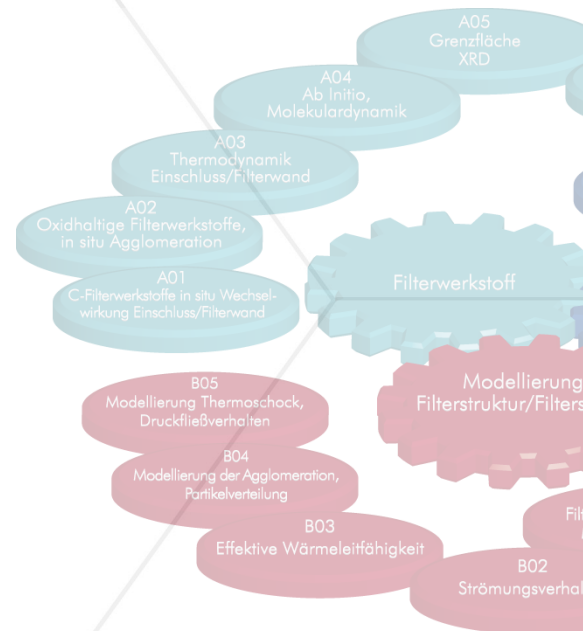
Foto (v. l. n. r.): Dr. Undine Fischer, Dr. Olga Aneziris, Prof. Dr. Christos G. Aneziris

AUS DEN ARBEITSGRUPPEN

Die Forschungsarbeiten im SFB 920 werden von vier Arbeitsgruppen getragen. Sie sichern eine problemorientierte Arbeitsweise, eine enge Vernetzung der Teilprojekte und einen intensiven Austausch zwischen allen Beteiligten. Die Verantwortung zur Koordinierung der Arbeitsgruppen übernehmen Nachwuchswissenschaftler - ein aktiver Beitrag des SFB zur frühzeitigen Förderung junger Wissenschaftler in einer eigenständigen Arbeitsweise sowie von Team- und Führungsfähigkeiten.

Arbeitsgruppe 1: „Metallschmelze, Einschlüsse, aktiver/reaktiver Filterwerkstoff, Grenzflächendesign“ (Leitung: Dipl.-Ing. Tilo Zienert)

- Beginn der Entwicklung von Al_2O_3 -/ MgAl_2O_4 -C-Filtern mit gradiertem Schichtaufbau (A01),
- Untersuchung des Einflusses der Additivzusammensetzung auf die Beschichtung von Schäumen mit Hilfe der Zentrifuge (A02),
- Generierung von Schaumkeramiken mit einer metastabilen Al_2O_3 -Oberfläche mit Hilfe der Aufbringung von Aluminiumhydroxid (A02, A06),
- Untersuchung verschiedener Aluminiumhydroxide mittels Differentialthermoanalyse (A03),
- Test von Al_2O_3 -C-Filtern mit und ohne Carbonnanoröhrchen im Metallgussimulator, Untersuchung der Kinetik der Zersetzungsreaktion des aufgetragenen Kohlenstoffes (Ph.D. Stipendiat Enrico Storti),
- erste Versuche zur Herstellung von Fasern auf dem Filter mittels „electrospinning“ an der Universität Padova (PhD. Stipendiat Enrico Storti),
- Durchführung von Sessile-Drop-Messungen zur Untersuchung möglicher Reaktionen zwischen der AlSi7Mg -Legierung und spodumenhaltigen Substraten sowie Untersuchung des Einflusses der Substratqualität auf den Verlauf von Sessile-Drop-Messungen und die Endwerteeinstellung der Kontaktwinkel im Rahmen einer Diplomarbeit (C06N, Vorleistung),
- Nachweis der Bildung von $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ bei Kurzzeitkontakt von Aluminiumschmelze mit amorphem SiO_2 über gezielte Wärmebehandlung von Sinterproben, Aufschmelzversuche mittels SPS sowie die Kombination von Elektronenmikroskopie mit WDX/EDX und XRD (A06).



Arbeitsgruppe 3: „Thermomechanische Eigenschaften der Filterwerkstoffe und Filterstrukturen“ (Leitung: Dipl.-Wi.-Ing. Yvonne Klemm)

- Numerische Simulation der effektiven thermischen und mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit der geometrischen Parameter der Filter, Berechnung von Versagensgrenzflächen im Spannungsraum zur Vorhersage möglicher Filterschädigungen beim Gießprozess, um Filter mit verbesserten thermomechanischen Eigenschaften herzustellen (B05),
- Implementierung der induktiven Heizung von Al_2O_3 -C Schaumkeramikfiltern und Durchführung von Druckversuchen an Al_2O_3 -C Schaumfilterstrukturen zunächst bei Raumtemperatur, Biegeversuche bis 1500°C an Proben mit Ausrichtung längs/quer zur Pressrichtung, Optimierung der Dehnungsmessung im Druck zur Eliminierung der thermischen Dehnungen der Suszeptoren (C02),
- experimentelle Bestimmung der temperaturabhängigen Festigkeit und Bruchzähigkeit an Kleinstproben, Small Punch Tests und miniaturisierte Druckversuche zur Ermittlung von Festigkeitsasymmetrien im Zug- und Druckbereich, Relaxationsversuche zur Beschreibung der zeitabhängigen Verformung der Filterkeramiken bei hohen Temperaturen (C03).

Arbeitsgruppe 2: „Modellierung und Auslegung der Filtergeometrie“ (Leitung: Dipl.-Ing. Eric Werzner)

- Entwicklung und Implementierung eines Euler-Modells zur Vorhersage der Filtration auf Basis statistischer Momente der Schmelzeströmung und Vergleich mit einer detaillierten Partikelverfolgung im instationären Strömungsfeld (B02, B04)
- Modellentwicklung zur Beschreibung von Haftkräften und Haftkraftverteilungen auf rauen Oberflächen für den Fall von Kapillarbrücken durch Gasblasen sowie Kräfte durch van der Waals und hydrophobe Wechselwirkungen (B04),
- Untersuchung des Einflusses der viskosen Kraft, wirksam bei Annäherung von Einschlüssen an die Filterwand infolge der Schmelzeverdrängung (B01, B02),
- Entwicklung und Verbesserung eines numerischen Verfahrens zur Modellierung und Simulation von isotroper Turbulenz auf Basis von mehrdimensionalen Gaußprozessen (B04),
- Visualisierung der Durchströmung von Keramikfiltern und Messung der Permeabilität mit einem Modellfluid und angepasstem Benetzungswinkel (B03),
- Generierung künstlicher Filterstrukturen auf Basis der Kelvin-Zelle unter Einhaltung geometrischer Parameter eines analysierten Keramikschaums und Beurteilung der Übereinstimmung anhand effektiver Eigenschaften (B02, B03, B05),
- Berechnung von Versagensgrenzflächen im Spannungsraum zur Vorhersage möglicher Filterschädigungen beim Gießprozess (B05).

Arbeitsgruppe 4: „Mechanische Eigenschaften, metallische Werkstoffe, kritische Einschlüsse“ (Leitung: Dr.-Ing. Dominik Krewerth)

- Inbetriebnahme einer Hochgeschwindigkeitskamera des Typs Photron FASTCAM SA-Z am Institut für Werkstofftechnik zu Untersuchungen mit einer zeitlichen und örtlichen Auflösung von Verschiebungen und Verformungslokalisationen mit bis zu 2,1 MFrames/s an diversen Prüfmaschinen (bspw. Fallwerk, Split-Hopkinson Pressure Bar) (C05),
- Auswertung und Dokumentation der Industriegießversuche an AISi7Mg in Zusammenarbeit mit der Firma Constellium, Frankreich (S03, A02),
- Einsatz der LiMCA-Methode (Liquid Metal Cleanliness Analyzer) zur in situ-Detektion der Einschlüsse in der Aluminiumschmelze (S01),
- Kombination von hochaufgelösten CT-Untersuchungen, thermographischen in situ-Methoden und Ermüdungsversuchen zur genaueren Bestimmung interner Defektorte in AISi7Mg (C04-I, S01).

A06
Dynamische
Grenzschichtgenerierung

C01
Clogging, Metall-
schmelzesimulator

C02
Formstabilität
C-Filter

C03
Small Punch Test

C04
Ermüdung metallisches
Bauteil

C05
Zähigkeit metallisches
Bauteil

Filtereffizienz,
Materialeigenschaften

B01
Strömungsmechanismen
Modellflüssigkeiten

EINFLUSS NICHTMETALLISCHER EINSCHLÜSSE AUF DAS ERMÜDUNGSVERHALTEN

Autor: Dr.-Ing. Dominik Krewerth (Teilprojekt C04)

Das TP C04 untersucht die Zuverlässigkeit von Gussstücken unter zyklischer Belastung in Abhängigkeit von genutzten Filtercharakteristiken. Mittels Ermüdungsversuchen können versagensrelevante nichtmetallische Einschlüsse bestimmt und Optimierungskriterien für Filtercharakteristiken ermittelt werden.

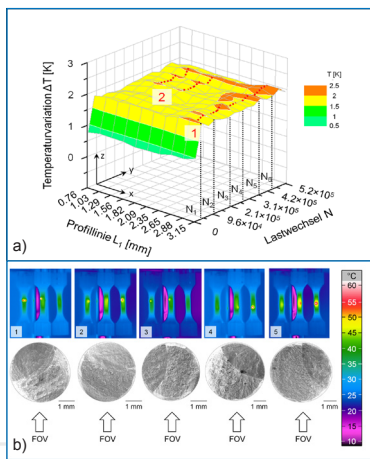


Abb. 1: Zweidimensionale (a) und dreidimensionale (b) in situ thermographische Untersuchungen am Stahlguss G42CrMo4.

a) Ermittlung eines internen Anrissortes durch eine erweiterte Raster-Auswertungsprozedur, b) exemplarische Darstellung der exakten dreidimensionalen Bestimmung des Anrissortes an fünf ausgewählten Proben.

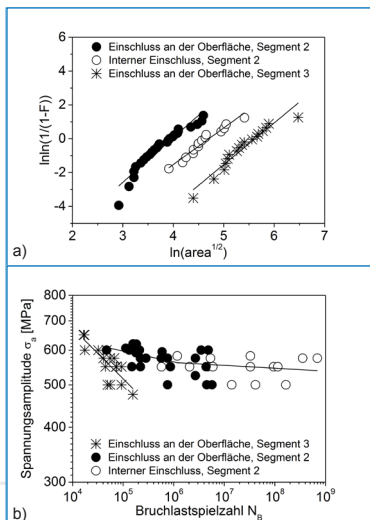


Abb. 2a: Weibull-Wahrscheinlichkeitsdiagramm der rissauslösenden Einschlussgrößen. Die Unterscheidung erfolgt nach Entnahmeorten (Segment 2 (Gussplatte) und Segment 3 (unterhalb des Speisers) und Lage der nichtmetallischen Einschlüsse. Abb. 2b: Wöhlerkurven für die unterschiedlichen Entnahme- und Anrissorte.

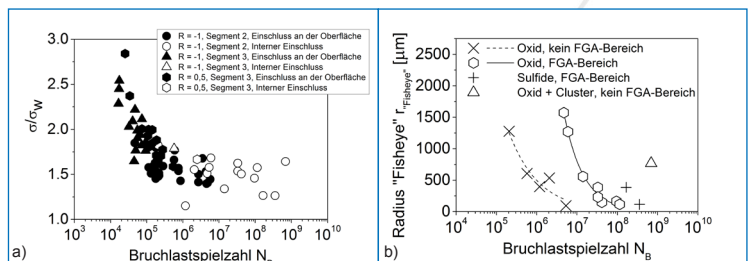
Teilprojekt C04 untersucht den Einfluss nichtmetallischer Einschlüsse auf das Ermüdungsverhalten u. a. der Modelllegierung G42CrMo4 (QT) im Bereich hoher (HCF) und sehr hoher Zyklenzahlen (VHCF). Die Untersuchungen basieren auf Ultraschallermüdungsversuchen unter wechselnder und zugschwellender Belastung sowie der nachfolgenden Detektion der rissauslösenden nichtmetallischen Einschlüsse am Rasterelektronenmikroskop (REM) bezüglich Lage, Größe, chemischer Zusammensetzung und Morphologie.

Weiterhin werden in situ-Methoden während der Ultraschallermüdung (Thermographie, Eigenfrequenzanalyse und Analyse des Nichtlinearitätsparameters) zur Schädigungsdetektion und Bestimmung des Anrissortes und Anrisszeitpunktes miteinander kombiniert, mit fraktographischen Untersuchungen korreliert (vgl. Abb. 1a) sowie zusätzlich dreidimensional erweitert (vgl. Abb. 1b). Somit ist zusätzlich zur zeitlichen Bestimmung des Anrisszeitpunktes durch die Analyse der Eigenfrequenz und der Nichtlinearitäten des Ultraschallsignals sowie thermographischer Messungen die eindeutige räumliche Bestimmung des Anrissortes innerhalb der zylindrischen Ermüdungsprobe möglich. Die abgeleiteten Defektgrößen werden zunächst in einem Weibull-Wahrscheinlichkeitsdiagramm ausgewertet und vergleichend mit den Lebensdauerdaten aufgetragen. Dadurch war eine eindeutige Unterscheidung verschiedener Segmente

der Gussplatten hinsichtlich der auftretenden Defektgrößen möglich (vgl. Abb. 2a, b). Weiterhin konnten verschiedene Defektlagen bzw. Anrissorte unterschieden werden. Die daraus resultierende Streuung der Lebensdauern innerhalb einer Gussplatte beträgt für den Stahlguss G42CrMo4 (QT) nahezu fünf Dekaden (vgl. Abb. 2b).

Die Anwendung des $\sqrt{\text{area}}$ -Modells nach Murakami ermöglicht die eindeutige Beschreibung des Einflusses der Defektgröße auf die Lebensdauer sowie die Reduzierung der Streuung in dem hier experimentell untersuchten Bereich hoher Zyklenzahlen ($5 \times 10^4 < N_B < 10^7$) bzw. Anrissorten ausgehend von nichtmetallischen Einschlüssen direkt an der Oberfläche oder in Kontakt mit der Oberfläche. Im Bereich sehr hoher Zyklenzahlen ($N_B > 10^7$) und interner Anrissorte ausgehend von nichtmetallischen Einschlüssen blieb die Streuung auch nach Anwendung des $\sqrt{\text{area}}$ -Modells bestehen (vgl. Abb. 3a; offene Symbole). Dieser Sachverhalt konnte auf verschiedene Typen interner Anrissorte zurückgeführt werden. Diese Anrissstypen wurden durch die Auftragung der Radien der „Fisheyes“ über der Bruchlastspielzahl N_B eindeutig identifiziert und durch Potenzgesetze beschrieben (vgl. Abb. 3b). Somit wurde die Streuung der Lebensdauern im Bereich sehr hoher Zyklenzahlen im Stahlguss G42CrMo4 (QT) nicht nur auf die Lage und die Größe der internen Anrissorte, sondern ebenfalls auf die vorliegenden Anrissstypen zurückgeführt. ■

Abb. 3a: Anwendung des $\sqrt{\text{area}}$ -Modells auf die an nichtmetallischen Einschlüssen versagten Ermüdungsproben (offene Symbole stellen Defektorte unterhalb der Oberfläche, ausgefüllte Symbole Defektorte direkt an oder in Kontakt mit der Oberfläche dar). Abb. 3b: Radien der „Fisheyes“ der verschiedenen internen Anrissstypen in Abhängigkeit von der Lebensdauer N_B .



NUMERISCHE MODELLIERUNG DER FILTRATION INNERHALB KERAMISCHER FILTERSTRUKTUREN

CFD-Simulationen des Filtrationsvorgangs können dazu beitragen, diejenigen Filtermerkmale und Prozessbedingungen zu identifizieren, die zu einer besseren Abscheidung von Verunreinigungen führen. Im SFB 920 wird ein detailliertes Gesamtmodell zur Untersuchung aller beteiligten Phänomene und deren Wechselwirkungen entwickelt.

Voraussetzung für die Simulation des Filtrationsprozesses sind repräsentative numerische Modelle der Filterstrukturen. Hierfür verfolgt der SFB 920 verschiedene Ansätze: Neben der Rekonstruktion von Filterschäumen aus CT-Scans werden künstlich idealisierte oder zufällige Schaumstrukturen generiert, unter gezielter Beeinflussung geometrischer Parameter. Die Verwendung periodischer Strukturen, wie der Kelvin-Zelle, erlaubt zudem eine starke Reduzierung des Rechenaufwands sowie die Untersuchung kleinskaliger Strömungsstrukturen.

Die Modellierung der Flüssigmetallströmung basiert auf der Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen mit Hilfe der Lattice-Boltzmann-Methode (LBM). Bei diesem mesoskopischen Verfahren wird das Fluid durch diskrete Partikelverteilungsfunktionen abgebildet, deren Momente Druck und Impuls beschreiben. Aufgrund des lokalen Charakters lässt sich die LBM effizient parallelisieren. Zudem vereinfacht die räumliche Diskretisierung des Rechengebiets mit Voxelgittern die Vernetzung der komplexen Geometrien.

Einschlüsse werden als diskrete Partikel betrachtet und durch Lösung der Bewegungsgleichung unter Berücksichtigung der Widerstands- und Auftriebskräfte im instationären Strömungsfeld verfolgt. Die Modellierung unterliegt dabei der Annahme einer Einwegkopplung, d.h. dass die Partikelbewegung keine zwischen Partikel und Strömung, dass die Anziehungskräfte eine kurze Reichweite aufweisen und ausreichend stark sind, um eine Resuspension zu verhindern. Neben der Bestimmung der Filtrationseffizienz wird der Partikel-Code auch zur Bestimmung effektiver Eigenschaften von Filterstrukturen, wie der hydrodynamischen Dispersion, verwendet. Zur Berechnung des Temperaturfeldes kommt ein hybrides Verfahren zum Einsatz, welches die LBM mit der Finite-Volumen-Methode (FVM) koppelt. Das Gesamtmodell

wurde in ein projekteigenes Programm implementiert, welches das MPI Protokoll zur Aufgabenverteilung auf Hochleistungsrechnern nutzt. Um die Datenmengen hochauflösender Simulationen schnell speichern und visualisieren zu können, werden die Lösungen in-situ, d.h. bei laufender Simulation, auf ca. ein Fünftel ihrer ursprünglichen Größe komprimiert. Die Parameter einer hier beispielhaft dargestellten Simulation sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Abbildung 1 stellt die Verteilung von Einschlüssen der Größe 100 µm in einem vergrößerten Ausschnitt des Keramikschlams dar, welcher von oben nach unten von der Schmelze durchströmt wird. Abgeschiedene Einschlüsse finden sich vor allem auf den stromaufwärts liegenden Wänden der Filterstege. Die Verteilung der Abscheidung entlang der Filtertiefe (vgl. Abb. 2) zeigt dabei den für Tiefenfiltration typischen Verlauf, welcher einem exponentiellen Gesetz folgt. Die Filtration erweist sich dabei als abhängig von der Einschlussgröße. Große Einschlüsse werden sowohl bedingt durch ihre Trägheit als auch den Sperreffekt abgeschieden. Kleinere Partikel folgen der Strömung nahezu verzögerungsfrei und besitzen eine deutlich geringere Wahrscheinlichkeit, mit den Filterstegen zu kollidieren. Aktuelle Untersuchungen zeigen den positiven Effekt turbulenter Strömungsfluktuationen auf die Abscheidung von Partikeln dieser Klasse. ■

Autor: Dipl.-Ing. Eric Wertzner (Teilprojekte B02, S02)

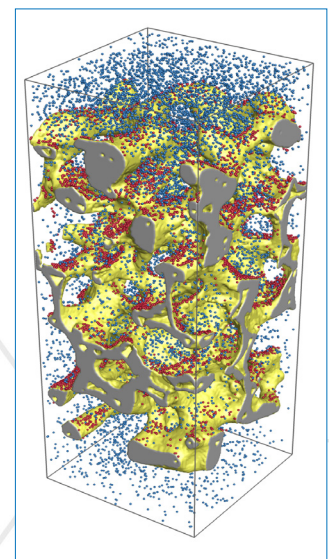


Abb. 1: Abscheidung von Einschlüssen in einem durchströmten Keramikschäum (Ausschnitt). Abgeschiedene Partikel sind rot dargestellt.

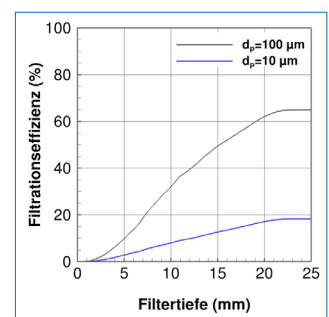


Abb. 2: Variation der kumulativen Filtrationseffizienz in Abhängigkeit der Filtertiefe für Einschlüsse verschiedener Durchmesser.

Einschlüsse		Filterschaum	
Material	Al ₂ O ₃	Porendichte	10 ppi
Dichte	3.900 kg/m ³	Porosität	86,2 %
Durchmesser	10 µm, 100 µm	Abmessungen	40 x 40 x 20 (mm) ³
Stahlschmelze		Numerische Details	
Anströmgeschw	3,9 cm/s	Räumliche Auflösung	65,0 µm
Anströmtemp	1600 °C	Zeitliche Auflösung	23,5 µs
Dichte	6.977 kg/m ³	Knotenanzahl	540 Millionen
Dyn. Viskosität	5.023 mPa·s	Partikelanzahl	10 Millionen

Tab. 1: Übersicht der Simulationsparameter für eine Stahlschmelzefiltration

AKTUELLE PUBLIKATIONEN

Projektbereich A - Filterwerkstoffe**Teilprojekt A01**

Emmel, M., Aneziris, C. G. (2015): Implementation of Novel Carbon Bonded Filter Materials for Steel Melt filtration – an Overview. *refractories worldforum*, Vol. 7, Iss. 1, pp. 73-82.

Storti, E., Emmel, M., Dudczig, S., Colombo, P., Aneziris, C. G. (2015): Development of multi-walled carbon nanotubes-based coatings on carbon-bonded alumina filters for steel melt filtration. *Journal of European Ceramic Society*, Vol. 35, Iss. 5, pp. 1569-1580, DOI 10.1016/j.jeurceramsoc.2014.11.026.

Moritz, K., Aneziris, C. G. (2015): Electrophoretic method for fabricating porous materials – application to different oxide materials. 5th International Conference on Electrophoretic Deposition: Fundamentals and Applications, Herstein (Austria), *Key Engineering Materials*, Vol. 654, pp. 101-105, DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.654.101.

Teilprojekt A02

Sarkar, N., Park, J. G., Mazumder, S., Pokhrel, A., Aneziris, C. G., Kim, I. J. (2015): Al₂TiO₅-mullite porous ceramics from particle stabilized wet foam. *Ceramics International*, Vol. 41 Iss. 4, Part A, pp. 6306-6311, DOI 10.1016/j.ceramint.2015.01.056.

Sarkar, N., Park, J. G., Mazumder, S., Pokhrel, A., Aneziris, C. G., Kim, I. J. (2015): Effect of Amphiphile Chain Length on Wet Foam Stability of Porous Ceramics. *Ceramics International*, Vol. 41 Iss. 3 Part A, pp. 4021-4027, DOI 10.1016/j.ceramint.2014.11.089.

Voigt, C., Aneziris, C. G., Hubáľková, J. (2015): Rheological characterization of slurries for the preparation alumina foams via replica technique. *Journal of the American Ceramic Society*, manuscript ID:JACERS-35459.R2, Vol. 98, Iss. 5, pp. 1460-1463, DOI 10.1111/jace.13522.

Voigt, C., Fankhänel, B., Jäckel, E., Aneziris, C. G., Stelter, M., Hubáľková, J. (2015): Effect of the filter surface chemistry on the filtration of aluminum. *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 46, Iss. 2, pp. 1066-1072, DOI 10.1007/s11663-014-0232-7.

Teilprojekt A03

Zienert, T., Dudczig, S., Fabrichnaya, O., Aneziris, C. G. (2015): Interface reactions between liquid iron and alumina-carbon refractory filter materials. *Ceramics International*, Vol. 41, Iss. 2, Part A, pp. 2089-2098, DOI 10.1016/j.ceramint.2014.10.004.

Zienert, T., Fabrichnaya, O. (2015): Interface reactions between steel 42CrMo4 and mullite. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 35, Iss. 4, pp. 795-802, DOI 10.1016/j.jeurceramsoc.2014.10.033.

Teilprojekt A04

Amirkhanyan, L., Weissbach, T., Kortus, J. (2015): Surface energy, structure and stability of crystalline corundum surfaces. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e.V. - DPG*, March 15-20, 2015, Berlin.

Teilprojekt A05

Dopita, M., Emmel, M., Salomon, A., Rudolph, M., Metej, Z., Aneziris, C. G., Rafaja, D. (2015): Temperature evolution of microstructure of turbostratic high melting coal-tar synthetic pitch studied using wide-angle X-ray scattering method. *Carbon*, Vol. 81, pp. 272-283, DOI 10.1016/j.carbon.2014.09.058.

Dopita, M., Salomon, A., Emmel, M., Aneziris, C. G., Rafaja, D. (2014): Microstructure evolution of turbostratic carbon studied by different analytical methods. *Materials Structure*, Vol. 21, Iss. 2, pp. 103-104, *Struktura* 2014.

Teilprojekt A06

Salomon, A., Emmel, M., Dopita, M., Dudczig, S., Aneziris, C. G., Rafaja, D. (2015): Reaction mechanism between the carbon bonded magnesia coatings deposited on carbon bonded alumina and a steel melt. *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 35, Iss. 2, pp. 795-802, DOI 10.1016/j.jeurceramsoc.2014.09.033.

Salomon, A., Voigt, C., Dopita, M., Aneziris, C. G., Rafaja, D. (2014): Application of SPS/FAST for the generation of metal melt/ceramic interfaces and infiltration. *International Conference on Sintering 2014*, 24.-28.08.2014 Dresden. In: *Proceedings of Sintering 2014*, Poster Presentation, *Chemical Interactions*, CI_02, p. 221.

Projektbereich B - Modellierung Filterstruktur/Filtersystem**Teilprojekt B01**

Heuzeroth, F., Fritzsche, J., Peuker, U. A. (2014): Wetting and its influence on the filtration ability of ceramic foam filters. *Particology*, Vol. 18, pp. 50-57, DOI 10.1016/j.partic.2014.06.001.

Heuzeroth, F., Fritzsche, J., Werzner, E., Mendes, M. A. A., Peuker, U. A., Ray, S., Trimis, D.: Viscous force - An important parameter for the modelling of deep bed filtration in liquid media. *Powder Technology*, DOI 10.1016/j.powtec.2015.05.018

Teilprojekt B02

Werzner, E., Laurinat, M., Herrmann, A., Ray, S., Trimis, D. (2014): Performance of Synthetic Geometries for Computationally Efficient Modelling of Flow Through Highly Porous Open-Cell Foams. *International Conference on Numerical and Mathematical Modeling of Flow and Transport in Porous Media - NM2 Porous Media*, 29 Sep - 3 Oct, 2014, Dubrovnik, Croatia.

Teilprojekt B03

Götze, P., Vijay, D., Jäckel, E., Wulf, R., Gross, U. (2014): Experimental Determination of Convective Heat Transfer Coefficients During Molten Aluminum Purification Using Open-Cell Alumina (Al₂O₃) Ceramics. In: *International Heat Transfer Conference 15 (2014)*, IHTC-15, August 10-15, 2014, Kyoto, Japan, ed.: A. Bar-Cohen, N. Kasagi and H. Yoshida, ISBN 978-1-56700-421-2, IHTC 15-9167, DOI 10.1615/IHTC15.fcv.009167.

Teilprojekt B04

Fritzsche, J., Peuker, U. A. (2015): Wetting and adhesive forces on rough surfaces - An experimental and theoretical study. In: *The 7th World Congress on Particle Technology (WCPT7)*, Beijing, China. *Procedia Engineering*, Vol. 102, pp. 45-53, DOI 10.1016/j.proeng.2015.01.105.

Saboor Bagherzadeh, E., Dopita, M., Mütze, T., Peuker, U. A. (2015): Morphological and structural studies on Al reinforced by Al₂O₃ via mechanical alloying. *Journal of Advance Powder Technology*, Vol. 26, Iss. 2, pp. 487-493, DOI 10.1016/j.appt.2014.12.002.

Teichmann, J., v. d. Boogaart, K. G. (2015): Cluster models for random particle aggregates - Morphological statistics and collision distance. *Spatial Statistics*, Vol. 12, pp. 65-80, DOI 10.1016/j.spasta.2015.03.002.

Teilprojekt B05

Storm, J., Abendroth, M., Kuna, M. E., Aneziris, C. G. (2015): Influence of curved struts, anisotropic pores and strut cavities on the effective elastic properties of open-cell foams. *Mechanics of Materials*, Vol. 86, pp. 1-10, DOI 10.1016/j.mechmat.2015.02.012.

Teilprojekt B06N, Vorleistung

Gladky, A., Schwarze, R. (2014): Comparison of Different Capillary Bridge Models for Application in the Discrete Element Method. *Granular Matter*, Vol. 16, Iss. 2, pp. 911-920, DOI 10.1007/s10035-014-0527-z.



Kratzsch, C., Timmel, K., Eckert, S., Schwarze, R. (2015): URANS Simulation of Continuous Casting Mold Flows: Assessment of Revised Turbulence Models. *Steel Research International*, Vol. 86, Iss. 4, pp. 400-410, DOI 10.1002/srin.201400097.

Schwarze, R., Haubold, D., Kratzsch, C. (2015): Numerical study of effects of pour box design on tundish flow characterisation. *Ironmaking and Steelmaking*, Vol. 42, Iss. 2, pp. 148-153, DOI 10.1179/1743281214Y.0000000221.

Projektbereich C - Filtereffizienz, Materialeigenschaften

Teilprojekt C05

Henschel, S., Krüger, L. (2015): Charakterisierung der dynamischen Rissinitiation mittels eines Split-Hopkinson Pressure Bar. In: P. Hübner (Hg.): 47. Tagung des DVM-Arbeitskreises Bruchvorgänge. Bruchmechanische Werkstoff- und Bauteilbewertung: Beanspruchungsanalyse, Prüfmethoden und Anwendungen. Freiberg, 10.-11. Februar. Berlin: Deutscher Verband für Materialforschung und -prüfung e.V. (DVM-Bericht, 247), S. 143-152, ISSN 1616-4687.

Henschel, S., Krüger, L. (2015): Modelling of crack initiation in a G42CrMo4 steel with non-metallic inclusions. *Steel Research International*, Vol. 86, Iss. 4, DOI 10.1002/srin.201400567.

Teilprojekt C06N, Vorleistung

Fankhänel, B., Stelter, M., Voigt, C., Aneziris, C. G. (2015): Wettability of AlSi5Mg on spodumene, *Metallurgical and Materials Transaction B*, Vol. 46, Iss. 3, pp. 1535-1541, DOI 10.1007/s11663-015-0307-0.

Übergreifende Teilprojekte

Teilprojekt S02

Lehmann, H., Jung, B. (2014): In-situ multi-resolution and temporal data compression for visual exploration of large-scale scientific simulations. The 4th IEEE Symposium on Large Data Analysis and Visualization - LDAV 2014, November 9-10, 2014 Paris, France, DOI 10.1109/LDAV.2014.7013204. *Best Paper Honorable Mention*

Lehmann, H., Lenk, M., Jung, B. (2014): Adding Interlacing to In-Situ Data Compression for Multi-Resolution Visualization of Large-Scale Scientific Simulations. International Conference on Artificial Reality and Telexistence & Eurographics Symposium on Virtual Environments - ICAT-EGVE 2014, December 8-10, 2014, Bremen, Posters and Demos, pp. 5-6, ISBN 978-3-905674-77-4, DOI 10.2312/ve.20141370.

Eine **Sonderpublikation der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e.V. (DGM)** porträtiert die Werkstoffforschung an der TU Bergakademie Freiberg. Anlass für diese Sonderpublikation ist das 250-jährige Bestehen der Universität.



Auf ca. 200 Seiten präsentiert der „DGM im Blickpunkt“ Highlights am Standort Freiberg, vor allem die beiden DFG-Sonderforschungsbereiche SFB 920 „Multi-

funktionale Filter für die Metallschmelzefiltration - ein Beitrag zu Zero Defect Materials“ und SFB 799 „TRIP-Matrix-Composite - Design von zähen, umwandlungsverstärkten Verbundwerkstoffen und Strukturen auf Fe-ZrO₂-Basis“. Zudem werden relevante Institute der Universität im Bereich Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, ihre Forschungsfelder, Vorhaben und ihre Forschungsinfrastruktur vorgestellt.

„Die besondere Forschungsstärke der TU Bergakademie Freiberg in der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik spiegelt sich in einer großen Zahl koordinierter Forschungsverbünde wie auch in Einzelvorhaben wieder. Durch ständige Investitionen in Technika mit teilweise semi-industriellen Anlagen wurden attraktive Forschungsmöglichkeiten geschaffen“, so Prof. Horst Biermann, stellvertretender Sprecher des SFB 920. Und dies bedeutete auch große Vorteile für eine exzellente Ausbildung von Studierenden, so Prof. Biermann weiter.

Die DGM ist der größte technisch-wissenschaftliche Fachverband der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik in Europa. Ihm gehören mehr als 2.300 persönliche Mitglieder sowie ca. 200 Firmen an. Seit 2013 werden durch die DGM führende deutsche Standorte der Werkstoffforschung und -anwendung vorgestellt. ■

Ein **neues Lehrbuch** mit dem Titel **„Moderne Methoden der Werkstoffprüfung“** greift aktuelle Forschungsergebnisse der Sonderforschungsbereiche 920 und 799 auf und erläutert ausgewählte Techniken der Werkstoff- und Materialprüfung insbesondere metallischer Werkstoffe. In zwölf Abschnitten vermitteln die Autoren moderne, anspruchsvolle Verfahren zur Ermittlung mechanischer Eigenschaften sowie analytischer Methoden der Prüfung verformter, metallischer Werkstoffe zur Aufklärung von Struktur-Eigenschafts-Beziehungen.

Die einzelnen Kapitel stellen zunächst die Grundlagen der Methoden vor. Danach folgen Darstellungen der Prüf- bzw. Analysetechniken sowie Anwendungsbeispiele aus Forschung und Praxis. Behandelt werden dabei insbesondere neue und modifizierte Prüfverfahren, die aufgrund der Weiterentwicklung von Werkstoffen sowie der Prüf- und Messtechnik, aber auch aufgrund von Anforderungen an die Werkstoffprüfung im Qualitäts-, Sicherheits- und Umweltmanagement erforderlich werden.



Besonders Studenten höherer Semester und Wissenschaftler der Materialwissenschaft, Werkstofftechnik, des werkstofftechnischen Maschinenbau oder des Wirtschaftsingenieurwesens mit werkstofftechnischer Vertiefung können sich mit diesem Standardwerk zu innovativen Prüfverfahren in die neuen Methoden einarbeiten. Für eine innovative und umfassende Aufbereitung der Lehrinhalte sei die enge, interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den an den Sonderforschungsbereichen beteiligten Wissenschaftlern von großer Bedeutung, so die Herausgeber Prof. Lutz Krüger und Prof. Horst Biermann. ■

SÄCHSISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN BERUFT FREIBERGER EXPERTEN



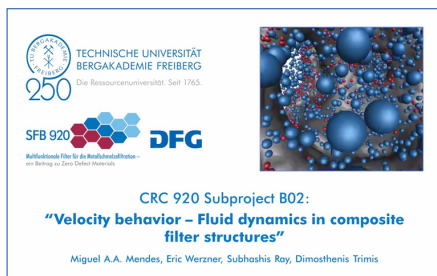
Foto: Prof. Dr. Horst Biermann.

Die Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig hat Prof. Dr. Horst Biermann, stellvertretender Sprecher des SFB 920 und Sprecher des SFB 799, als ordentliches Mitglied der Technikwissenschaftlichen Klasse aufgenommen. Er gehört damit zu einem Expertenkreis von ca. 200 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus verschiedenen Fachrichtungen, die sich gemeinsam für eine Pflege der Wissenschaften, eine Erweiterung und Vertiefung von Forschung sowie die Anregung und Förderung von Forschungsvorhaben engagieren.

„Die Wahl ist eine besondere Ehrung“, so Prof. Biermann. „Damit wird nicht nur eine Einzelleistung gewürdigt, sondern die Arbeit meiner ganzen Gruppe, da für die Aufnahme in die Akademie die wissenschaftliche Leistung meiner gesamten 15-jährigen Dienstzeit in Freiberg betrachtet wurde. Daher möchte ich allen Mitgliedern meiner Arbeitsgruppe für ihr großes Engagement danken.“

Prof. Biermann ist seit 2000 Lehrstuhlinhaber und Leiter des Instituts für Werkstofftechnik an der TU Bergakademie Freiberg. Darüber hinaus engagiert sich Prof. Horst Biermann als Sprecher für das Fachkollegium Werkstofftechnik bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und war Gründungsvorsitzender des Studientages Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (StMW). ■

MITTELS NEUER MEDIEN ANSCHAULICH ERKLÄRT



Ein neues Online-Video erläutert das Vorgehen zur Modellierung, um komplexe Filtrationsprozesse simulieren zu können: Dr. Miguel A.A. Mendes, Eric Wertzner, Dr. Subhashis Ray und Prof. Dimosthenis Trimis stellen, unter Nutzung visueller Darstellungen, Erläuterungen und Animationen, Ziele und Ansätze ihres Teilprojekts, methodische Grundlagen und Anwendungen ihres Modellierungsansatzes vor. Das Video ging Anfang März auf Youtube online und wurde bereits fast 100 Mal abgerufen. ■

KONFERENZEN UND CALLS FOR PAPERS

International CALPHAD Conference, 31.05.-06.06.2015, Loano (Italien): weitere Informationen unter www.calphad.org/meetings/2015/.

14th International Conference of the European Ceramic Society ECerS 2015, 21.-25.06.2015, Toledo (Spanien): weitere Informationen unter www.ecers2015.org.

DGM-Werkstoffwoche, 14.-17.09.2015, Dresden: Informationen zum Programm, zur Registrierung und zur Beitragseinreichung unter www.werkstoffwoche.de.

14. UNITECR 2015, 15.-18.09. 2015, Wien, Österreich: weitere Informationen unter www.unitecr2015.org.

9th International Conference on Clean Steel, 08.-10.09.2015, Budapest (Ungarn): weitere Informationen unter www.cleansteel9.com.

6. Freiburger Feuerfestforum, 09.12.2015, Freiberg: weitere Informationen unter tu-freiberg.de/forschung/sfb920.

IMPRESSUM

HERAUSGEBER

Prof. Dr.-Ing. habil. Christos G. Aneziris
Sprecher des SFB 920
TU Bergakademie Freiberg
Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik
Agricolastraße 17, 09599 Freiberg
Telefon: +49 3731 39 2505
Telefax: +49 3731 39 2419
E-Mail: aneziris@ikgb.tu-freiberg.de

Dr.-Ing. Undine Fischer
Geschäftsführung des SFB 920
TU Bergakademie Freiberg
Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik
Agricolastraße 17, 09599 Freiberg
Telefon: +49 3731 39 3324
Telefax: +49 3731 39 2419
E-Mail: undine.fischer@ikgb.tu-freiberg.de

REDAKTION

Prof. Dr. habil. Anja Geigenmüller
TU Ilmenau
Fakultät Wirtschaftswissenschaften & Medien
Fachgebiet Marketing
Helmholtzplatz 3, 98693 Ilmenau
Telefon: +49 3677 69 4085
Telefax: +49 3677 69 4223
E-Mail: anja.geigenmueller@tu-ilmenau.de

FOTOS

TU Bergakademie Freiberg, SFB 920 „Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration - ein Beitrag zu Zero Defect Materials“, Detlev Müller

AUSGABE: Nr. 8, Heft 01/2015

ERSCHEINUNGSWEISE: halbjährlich



Multifunktionale Filter für die Metallschmelzefiltration – ein Beitrag zu Zero Defect Materials