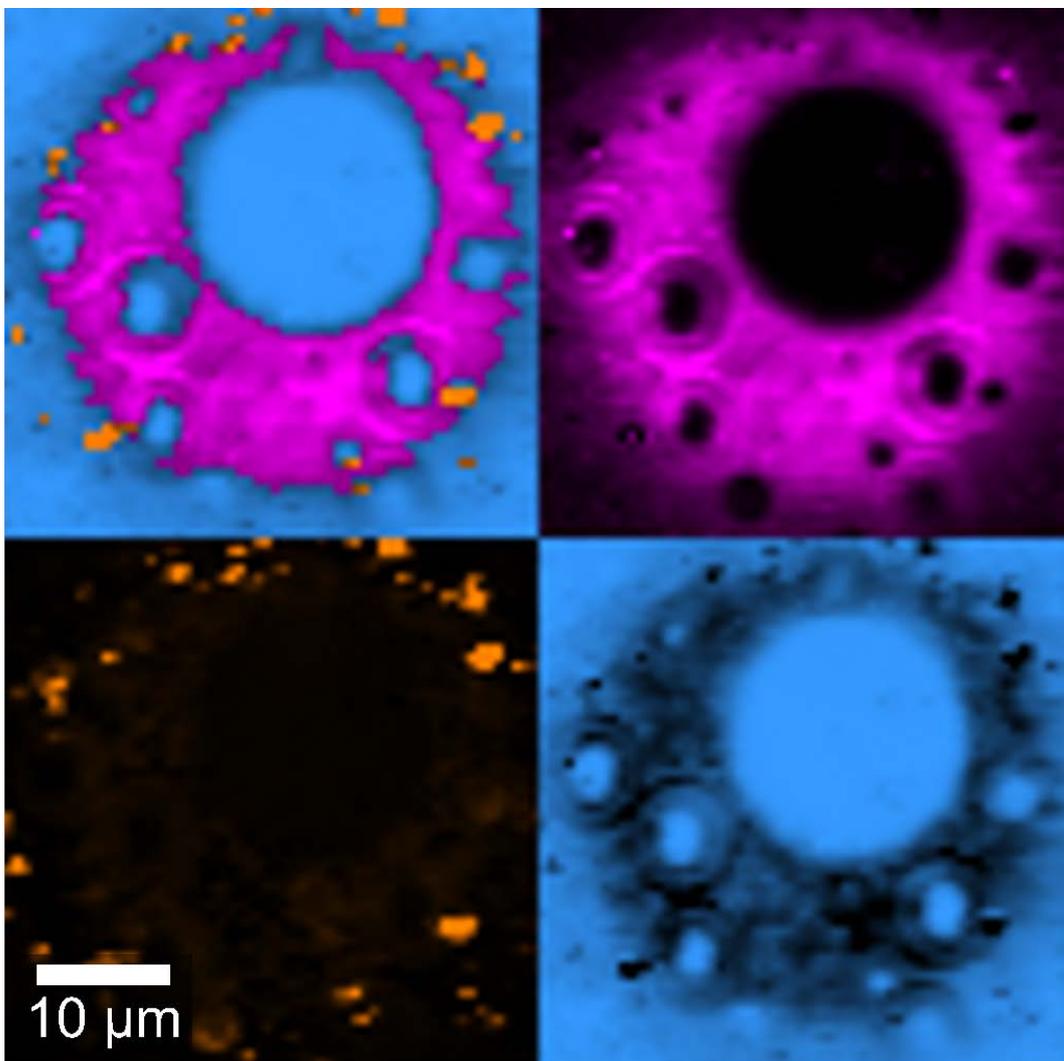


DER SEGERKEGEL

*Mitteilungen aus dem Institut
für Nichtmetallische Werkstoffe*



Das Titelbild zeigt eine Flächenphasenanalyse mittels Ramanspektroskopie an einer Probe des Bismutboratsystems, die Synthese der Probe erfolgte in der FDSC des Instituts für Nichtmetallische Werkstoffe.

Mitteilungen aus dem
Institut für Nichtmetallische Werkstoffe
der Technischen Universität Clausthal

Heft 48

Dezember 2024

Institut für Nichtmetallische Werkstoffe
Technische Universität Clausthal
Zehntnerstraße 2a
38678 Clausthal-Zellerfeld

Internet: <https://www.inw.tu-clausthal.de>

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| VORWORT | 1 |
| 1 LEHRE | 3 |
| 1.1 WISSENSCHAFTLICHES PERSONAL MIT LEHRAUFGABEN | 3 |
| 1.2 BACHELOR- UND MASTERSTUDIUM | 3 |
| 1.2.1 Lehrveranstaltungen | 3 |
| 1.2.2 Projektarbeiten und Forschungspraktika | 4 |
| 1.3 PROMOTIONSSTUDIUM | 4 |
| 1.3.1 Dissertationen | 4 |
| 1.3.2 Exkursionsberichte im Rahmen des MP-Kollegs | 7 |
| 1.3.3 ICG Summer School für Promovierende in Montpellier (Frankreich) | 9 |
| 2 FORSCHUNG | 10 |
| 2.1 MITARBEITER | 10 |
| 2.2 FORSCHUNGSFELDER | 10 |
| 2.3 FÖRDERUNG | 10 |
| 2.3.1 Öffentlich geförderte Forschungsprojekte | 10 |
| 2.3.2 Industrielle Forschungsprojekte | 11 |
| 2.4 VERÖFFENTLICHUNGEN | 11 |
| 2.4.1 Artikel in referierten Fachzeitschriften | 11 |
| 3 NACHRICHTEN | 13 |
| 3.1 PROJEKTTREFFEN IM RAHMEN DES EU-FORSCHUNGSVORHABENS „REACTIV“ | 13 |
| 3.2 97. GLASTECHNISCHE KONFERENZ DER DGG & HVG IN AACHEN | 14 |
| 3.3 CAMPUSLAUF | 16 |
| 3.4 VERABSCHIEDUNG DES KOLLEGEN DR. HANSJÖRG BORNHÖFT AM 31.07.2024 IN DEN RUHESTAND ... | 17 |
| 3.5 PREISVERLEIHUNG AN PROF. JOACHIM DEUBENER AUF DER JAHRESTAGUNG „INTERNATIONAL COMMISSION ON GLASS (ICG)“ IN INCHEON (KOREA) | 18 |
| 3.6 WANDERTAG 2024 | 19 |
| 3.7 ZUKUNFTSTAG IN NIEDERSACHSEN | 21 |
| 3.8 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON QUARTZ AND GLASS IN GÖTTINGEN | 21 |
| 3.9 13 TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CRYSTALLIZATION IN GLASSES AND LIQUIDS IN ORLÉANS (FRANKREICH) | 23 |
| 3.10 NEUES HOCHTEMPERATUR-RHEOMETER | 25 |
| 3.11 NEUES HOCHTEMPERATUR-BEOBACHTUNGSMIKROSKOP | 26 |
| 3.12 NEUER HOCHTEMPERATUROFEN | 27 |

VORWORT

Liebe Ehemalige und Freunde des Instituts für Nichtmetallische Werkstoffe,

leider muss ich Ihnen mitteilen, dass unser neuer Kollege am Institut für Nichtmetallische Werkstoffe, Herr Prof. Dr. Lukas Porz, der die Denomination „Nachhaltige Mineralische Prozesstechnik“ innehatte, die Universität bereits verlassen hat. Ich bin sehr traurig darüber, dass Herr Prof. Porz seine Stelle nicht antreten konnte und wir wieder am Anfang eines Neubesetzungsverfahrens stehen, das viel Zeit in Anspruch nehmen wird. Trotz dieses Rückschlags werden wir versuchen, diesen Prozess schnell wieder in Gang zu bringen, um die Kontinuität von Lehre und Forschung an unserem Institut zu gewährleisten.

Ich freue mich, Ihnen über die zahlreichen Forschungsergebnisse und Tagungsbeiträge berichten zu können, die wir in diesem Jahr erzielen konnten. In dieses positive Bild passen die interessanten Exkursionen, und natürlich darf auch die eine oder andere Feier nicht fehlen, die das Institutsleben in diesem Jahr abgerundet haben, aber bitte lesen Sie selbst...

Ihnen allen eine frohe Weihnachtszeit, einen guten Start ins Jahr 2025 und ein herzliches Glückauf!

Ihr



Joachim Deubener
Geschäftsführender Institutsdirektor

Auch dem 48. Segerkegel haben wir einen Überweisungsträger beigelegt. Das Ausstellen einer Spendenquittung ist wie immer eine unserer leichtesten Übungen!

Spendenkonto:

Geldinstitut: Sparkasse Hildesheim-Goslar-Peine

BIC: NOLADE21HIK

IBAN: DE85 2595 0130 0000 0004 22

1 LEHRE

1.1 Wissenschaftliches Personal mit Lehraufgaben

| | |
|-----------------------------------|--|
| Ordentliche Professoren | J. Deubener, L. Porz (bis 9/2024) |
| Professoren (Apl., Sonder.) | J. Günster / V. Rupertus / M. Schmücker |
| Entpflichtete Professoren | H.J. Barklage-Hilgefort / W. Beier / J.G. Heinrich / A. Wolter |
| Honorarprofessoren | M. Schneider |
| Lehrbeauftragte | S. Blöß / A. Ehrenberg / T. Tonnesen / J. Wendel |
| Wiss. Mitarbeiter (Landesstellen) | H. Bornhöft (bis 31.07.2024) / F. Elsner (bis 31.03.2024) / B. Hagel / G. Hensch / J. Streichert (geb. Löschnann, ab 01.08.2024, in Mutterschutz ab 30.07.2024) / E. Miguel (ab 01.08.2024, Vertretung J. Streichert) |

1.2 Bachelor- und Masterstudium

1.2.1 Lehrveranstaltungen

Das Institut für Nichtmetallische Werkstoffe ist mit seinem Studienangebot in die Bachelor- und Masterstudiengänge „Materialwissenschaft und Werkstofftechnik“ der Technischen Universität Clausthal eingebunden.

Pflichtbereich:

| | | |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Materialwissenschaft I | Vorlesung / Übung | Deubener |
| Werkstoff- u. Materialanalytik II | Vorlesung / Übung | Rupertus |
| Werkstofftechnik | Praktikum | Deubener / Steuernagel / wiss. MA |

Wahlpflichtbereich:

| | | |
|---|-----------------------|---------------------------|
| Feuerfeste Materialien | Vorlesung | Tonnesen |
| Gläser in Energie- und Umwelttechnik | Vorlesung | Deubener |
| Grundlagen Bindemittel II | Vorlesung / Exkursion | Schneider |
| Grundlagen Glas | Vorlesung | Deubener |
| Innov. Nichtm. Wkst. + Bauw. | Vorlesung / Übung | Bornhöft / Steuernagel |
| Kristallographie für Ingenieure | Vorlesung / Übung | Schmücker / Hagel |
| Industriemineralien | Vorlesung | Blöß |
| Prüfverfahren Glas | Seminar / Praktikum | Bornhöft / Hensch / Hagel |
| Recycling von Glas | Vorlesung | Bornhöft |
| Glaskeramik | Vorlesung | Deubener |
| Emails und Glasuren | Vorlesung | Wendel |
| Seminar Einführung Glas | Seminar | Deubener |
| Technologie Glas | Vorlesung / Exkursion | Deubener |
| Veredlung von Flachglas | Vorlesung | Deubener |
| Schlackenverwertung | Vorlesung / Seminar | Ehrenberg |

1.2.2 Projektarbeiten und Forschungspraktika

Samuel Grabowski

Bestimmung der Oberflächenspannung von Gläsern über die Tropfen-Gewichts-Methode

Betreuer: Bornhöft

1.3 Promotionsstudium

1.3.1 Dissertationen

Felix Elsner

Das System der Melilith-Mischkristallreihe zur Schaffung inertisierter, künstlicher Gesteinskörnung durch Sekundärstoffverklinkerung

Gutachter: Wolter / Goldmann

Die globale Bauindustrie wäre ohne den Hochleistungswerkstoff Beton, welcher grundlegend aus Zement, Wasser und Gesteinskörnung hergestellt wird, nicht technologisch und wirtschaftlich realisierbar. Letztere stellt ca. 65 Vol.-% des Baustoffs dar und wird in der Regel durch primäre Ressourcen gedeckt. Durch zukünftiges Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, wird eine langfristige Zunahme des Gesteinskörnungsbedarfs erwartet. In Kombination mit größtenteils linearen Wirtschaftsansätzen, widerspricht dies den Bestrebungen der Europäischen Union bezüglich Nachhaltigkeit. Demgegenüber resultieren vielfältige mineralische Sekundärstoffströme aus industriellen Prozessen, welche häufig ressourcenverschwendende Deponierung anstelle wertschöpfender Verwertung erfahren.

In der vorliegenden Dissertation wurde ein neuer, synergistischer Lösungsansatz verfolgt, um künstliche inerte Gesteinskörnung durch Sekundärstoffverklinkerung zu generieren, kurz SeKlink. Dies wurde durch einen Hochtemperatursinterprozess und der gezielten Bildung von Phasen der Melilith-Mischkristallreihe erreicht. Melilithe sind, als dominierende Kristallphase des etablierten Sekundärbaustoffs Hochofenstüchschlacke, für ihre mechanische Festigkeit, Auslaugungswiderstand und Dauerhaftigkeit bekannt. Sie bilden darüber hinaus ein ausgedehntes Primärausscheidungsgebiet innerhalb des quaternären Systems $\text{CaO-MgO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Die Arbeit ist entleihbar.

Lina Simone Heuser

Alkali and alkaline earth zinc and lead borate glasses: Structure, properties and chemical interactions with silver

Gutachter: Deubener / R. Conradt (RWTH Aachen) / M. Nofz (BAM Berlin)

Low-melting zinc borate glasses are potential substitutes for glasses containing harmful lead oxide. For use in silver-glass pastes, such as in photovoltaic (PV) and microsystem technology, it is essential to be familiar with the physical processes and chemical reactions between glass and silver. This thesis aims to explore the composition-structure-property relationships of $\text{Me}_2\text{O-}$

ZnO-B₂O₃, Me = Li (LZB), Na (NZB), K (KZB), Rb (RZB), CaO-ZnO-B₂O₃ (CaZB), and Li₂O-PbO-B₂O₃ (LPbB) glasses and the chemical interactions between silver and glass melts as a basis for understanding these aspects.

Glass structure was analyzed using Raman and infrared spectroscopy, and the glass properties were measured using differential thermal analysis (glass transition temperature (T_g), crystallization), dilatometry (T_g , viscosity data, coefficient of thermal expansion), rotational viscometry (high-temperature viscosity), and heating microscopy (sintering). The dissolution and precipitation processes of silver in the Ag/Ag₂O-Na₂O-ZnO-B₂O₃ system were monitored using hot-stage microscopy (HSM), energy-dispersive X-ray spectroscopy, and Raman spectroscopy.

It was found that alkali and calcium ions largely balance out the negative charges of BO₄-units, while zinc and lead ions stabilize the non-bridging oxygen (NBO) atoms. The decreased number of BO₄-units in the series LZB \approx CaZB (0.39) > NZB (0.37) > KZB \approx RZB (0.36), which mainly results from modifier's higher basicity and lower field strength, leads to a decrease in the atomic packing density and thus also in the Young's Modulus, in the glass transition temperature and consequently also in the viscosity and sintering temperature. The greater field strength of Zn²⁺ relative to Pb²⁺ is responsible for the lower T_g (down by \sim 70 K) of LPbB compared to the iso-compositional sample LZB. Sufficient glass stability at higher temperatures allows glass powders to completely densify before crystallization occurs in all melts. Due to the relatively high optical basicity of the alkali zinc borate glasses (0.55-0.60) and formation of NBOs, Ag₂O is poorly soluble in the melt (< 0.01 mol%). When the Ag₂O content is greater, Ag₀ precipitates (HSM) while leaving small fractions of Ag⁺ ions behind in the glass network (Raman spectroscopy). In connection with rapid thermal processing of pastes on PV silicon wafers, these results mean that lower viscosity and lower surface tension of the glass fraction in the Li⁺ > Na⁺ > K⁺ > Rb⁺ series enable better wetting of the silver grains, earlier densification of the pastes, and accelerated penetration through antireflection coating to contact the silicon wafer.

Die Arbeit ist entleihbar.

Tina Marina Waurischk

Crack growth and internal friction in oxide glasses

Gutachter: Deubener / H. Behrens (LUH Hannover) / L. Wondraczek (FSU Jena)

The practical strength of glass is limited by the presence of surface defects and cracks. This is also manifested in low fracture toughness < 1 MPa m^{0.5}. Here, the influence of structurally dissolved water is poorly understood. The aim of this cumulative dissertation is therefore to investigate the crack growth behavior of anhydrous as well as hydrous glasses in air and vacuum in order to shed light on the influences of their composition on the mechanical behavior at the crack tip, as well as to investigate design principles for new more resistant glasses.

For this purpose, double cantilever beam experiments were performed using a specially designed apparatus that allows crack growth rates to be measured over 10 orders of magnitude at varying humidity and in vacuum. For crack growth under ambient conditions (humidity), different silicate and borate glasses show that although a high susceptibility to stress corrosion correlates with a low hydrolytic resistance, no strict correlation is evident. Instead, the slope of the crack growth curve appears to decrease with increasing network transducer content. This trend may reflect an

underlying energy dissipation mechanism during stress corrosion crack growth, e.g., water transport or ion exchange processes in a region close to the crack tip, which are themselves known to cause relaxation mechanisms. Also for anhydrous glasses, no correlation of glass composition, reference stress intensity K_I^* and the slope of the crack growth curve could be found. However, K_I^* tends to increase with atomic packing density and roughly correlates with the calculated intrinsic fracture toughness. Here, deviations from ideal brittle behavior are again attributed to stress-induced diffusion processes and energy dissipation during fracture due to sub- T_g relaxations. In contrast, water-containing glasses in vacuum show a lower average slope of the crack growth curve, which can be divided into several sections with different slopes, indicating different water-related crack propagation mechanisms. Although slow crack growth in vacuum is not strongly affected by dissolved water and occurs similarly to anhydrous glass, on the other hand, a doubling of crack toughness is revealed at high crack growth rates. Consequently, dissolved water can be considered as a strengthener.

Die Arbeit ist entleihbar.

1.3.2 Exkursionsberichte im Rahmen des MP-Kollegs



Teilnehmende der MP-Exkursion der Glasgruppe des Instituts für Nichtmetallische Werkstoffe der TU Clausthal: Johannes Zay (3.v.l.), Thomas Peter (5.v.l.), Annika Blum (6.v.l.), Stefanie Meyer (7.v.l), Benedict Hagel (12.v.l.) sowie Studierende der TU Clausthal und der RWTH Aachen.

Im Rahmen der Vorlesung von Dr. Tonnesen über Feuerfest-Materialien am INW wurde am 09.01.2024 eine Exkursion ins Stahlwerk der Salzgitter AG durchgeführt. An einem kalten klaren Wintertag ging es um 6:30 Uhr vom INW aus in Richtung Salzgitter. Dort trafen wir auf eine Gruppe von Mitgliedern des Lehrstuhls für Keramik der RWTH Aachen, wo Dr. Tonnesen Gruppenleiter für Feuerfest-Materialien ist. Gemeinsam erhielten wir einen guten Einblick in den gesamten Produktionsprozess des bei der Salzgitter AG hauptsächlich hergestellten Flachstahls, einschließlich der Einsatzbereiche der feuerfesten Werkstoffe. Besonders interessant waren die Einblicke in die Herausforderungen beim gerade erfolgten Austausch der Feuerfest-Ausmauerung eines gesamten Hochofens, die wir von der verantwortlichen Ingenieurin aus erster Hand erhielten. Als Ausblick in die Zukunft wurde die im Aufbau befindliche Umstellung auf Direktreduktion mit Wasserstoff vor Ort erklärt.

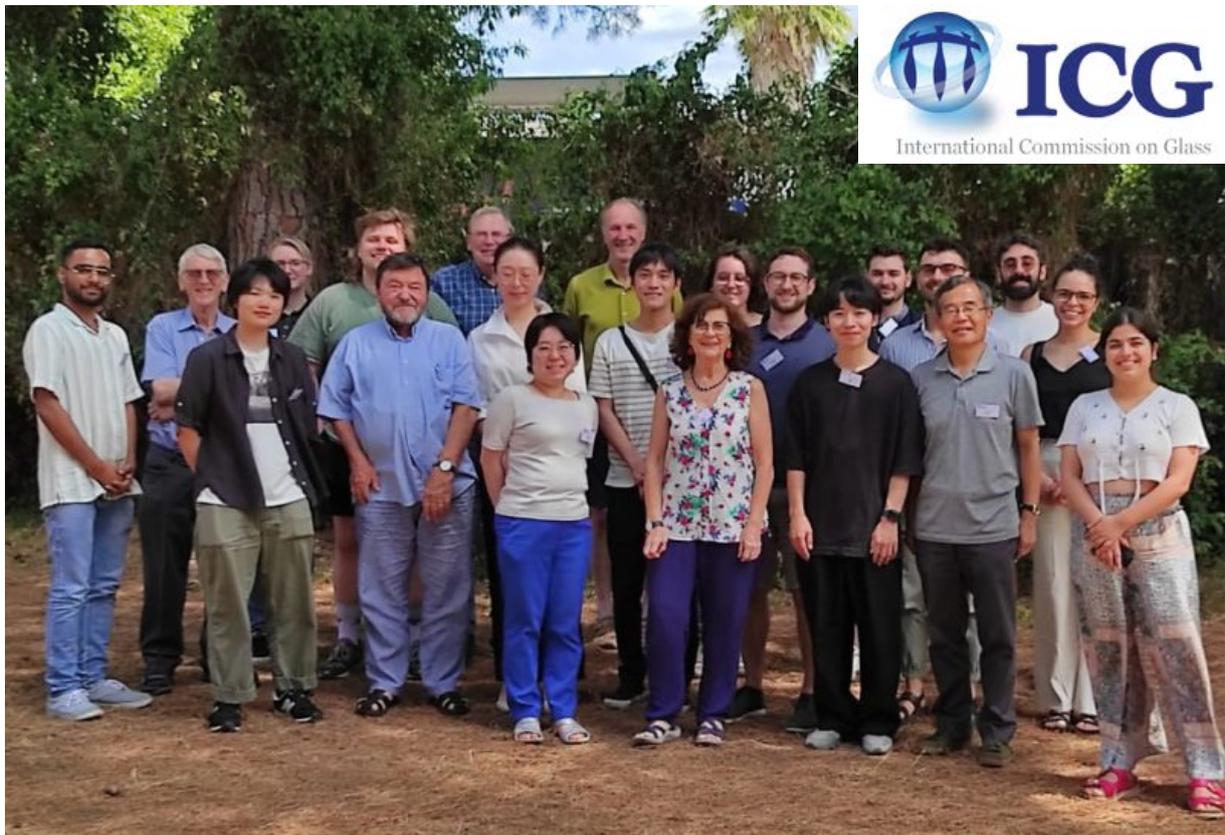
Federführend durch das MP-Kolleg führte uns am 19.01.2024 eine Exkursion zur Firma Auer Lighting nach Bad Gandersheim, bei der unsere ehemalige Kollegin und Promovendin Dr. Aneta Flejszar arbeitet. Der Tag begann mit einer sehr freundlichen Begrüßung im Seminarraum und einer Vorstellung der Firma seitens Herrn Dr. Simon, Herrn Dr. Bewig und Frau Dr. Flejszar. Zunächst gab es einen Überblick der Tätigkeitsfelder, welche sich unter anderem mit verschiedensten Linsen wie LED-Scheinwerfer-, Stufen- und Vorsatzlinsen (z.B. Borosilicatgläser im Automotive-Bereich für moderne Abblendlichtsysteme) beschäftigen, aber auch weitere Anwendungsgebiete z.B. für Reflektorlinsen, Lichtleiter oder Wasserzählergläser wurden genannt. Spannend war auch die Produktion im Wandel der Zeit am Beispiel der Autoscheinwerfer, welche früher aus Glas bestanden und heutzutage sind es die Speziallinsen in der Optik der Scheinwerfer. Die Vorstellungsrunde schlossen wir ab mit einer Vorstellung der Exkursionsteilnehmer und dann startete die Führung mit dem Bereich „Heißformgebung“. In diesem Bereich konnte die Formgebung des heißen Glases in den präzise ausgefertigten Pressen und dem heißen fertigen Werkstück verfolgt werden. Auf dem Band standen bei unserem Besuch Wasserzählergläser. Der Umbau der Formen ist einfach möglich und somit ist die Produktion flexibel auch für kleinere Stückzahlen. Einige Werkstücke benötigen noch eine Nachbehandlung durch Tauchbeschichtung oder mittels Plasmabeschichtung. Zuletzt konnten wir uns die Abteilung „Werkzeugbau“ anschauen, wo klar wurde, wie präzise diese robust anmutenden Formen gefertigt sein müssen (z.B. durch Nachpolitur). Um den Exkursionstag abzuschließen, wurden wir zum Mittagessen in die Firmenmensa eingeladen, schossen unser Gruppenbild im Showroom und traten die Rückfahrt nach Clausthal an.



Teilnehmende der MP-Exkursion im Showroom von Auer Lighting, von links: Felix Elsner, Alessio Zandonà, Gundula Helsch, Dr. Aneta Flejszar, Beatriz Paiva da Fonseca, Stefanie Meyer, Jessica Streichert (geb. Löschmann), Annika Blum, Geovana de Fátima da Silva, Benedict Hagel, Anna Krein, Dr. Dieter Simon, Dr. Bewig.

1.3.3 ICG Summer School für Promovierende in Montpellier (Frankreich)

Vom 08. bis zum 12. Juli 2024 fand auch in diesem Jahr die internationale ICG Summer School in Montpellier, Frankreich, statt, an welcher die brasilianische Austauschstudentin Geovana de Fátima da Silva, sowie die Doktorandin Stefanie Meyer teilnahmen. Unter dem Oberbegriff „Glasbildung, Struktur und Eigenschaften“ wurden in Vorlesungen und Übungen an den fünf Kurstagen vielfältige Einblicke in die internationale Glasforschung gegeben. Ein Novum war die Durchführung des Kursprogrammes als fortlaufende Kombination aus Vorlesung und Übung, sodass in diesem Jahr jeder Teilnehmer an allen Veranstaltungsteilen, beziehungsweise Übungen, teilnehmen konnte. Die Lerneinheiten reichten von theoretischen Grundlagen zu optischen und mechanischen Eigenschaften der Gläser über Herstellungsrouten, Modellierungen und Analysemethoden wie NMR und Ramanspektroskopie bis hin zu einer Einführung zur praktischen Arbeit im Labor. Als eingeladener Dozent lehrte Prof. Deubener in zwei Vorlesungs- bzw. Übungsblöcken zum Thema Glaskeramiken von deren Herstellung bis zur Anwendung. Bei hochsommerlichem Wetter und sehr guter kulinarischer Versorgung konnte auch das Rahmenprogramm, welches unter anderem auch eine Stadtführung durch Montpellier beinhaltete, stattfinden. Umrahmt von einer mediterranen Parkanlage mit teils sehr altem Baumbestand wurde die schöne südfranzösische Stimmung einzig von der stets hungrigen örtlichen Moskitopopulation getrübt.



Teilnehmende der Glasgruppe des Institut für Nichtmetallische Werkstoffe der TU Clausthal: Stefanie Meyer (4.v.l.), Prof. Joachim Deubener (12. v.l.) und Geovana de Fátima da Silva (2.v.r.).

2 FORSCHUNG

2.1 Mitarbeiter

- Wissenschaftliche Mitarbeiter mit Projektaufgaben (Drittmittel)
A. Blum / F. De Moraes / S. Gogula (bis 31.01.2024) / N. Hbib (bis 30.06.2024) /
S. Meyer / J. Streichert (geb. Löschmann, bis 30.07.2024) / B. Paiva da Fonseca
- Technische Mitarbeiter
T. Peter / C. Rust / M. Zellmann
- Sekretariat
S. Schildhauer
- Werkstatt
N. Hinz (bis 31.05.2024) / R. Putzig

2.2 Forschungsfelder

- Prozesse und Werkstoffe aus den Bereichen: Hohl- und Flachgläser, Spezialgläser, Glas-keramiken, Glasfasern, Emails, Schlacken sowie Sol-Gel Gläser und Beschichtungen.

2.3 Förderung

2.3.1 Öffentlich geförderte Forschungsprojekte

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

- DE 598/33-1
Rheologie nanopartikelhaltiger technischer und natürlicher Silicatschmelzen
- DE 598/36-1
Kinetische Fragilität von Schmelzen bedingter Glasbildneroxide
- DE 598/37-1
Zusammensetzungs-Struktur-Eigenschafts-Beziehung in aus Glas synthetisierten Tekto-silicat-Mischkristallen

European Commission (EU)

- 958208
Industrial residue activation for sustainable cement production “ReActiv”

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

- 13XP5122B
Datengetriebener Workflow für die beschleunigte Erforschung von Glas (GlasDigital) – Erforschung Bildanalyse und Analytik von Gläsern beim automatisierten Guss
- 03XP0332D
Early Stage-Metallrückgewinnung für das energie- und ressourceneffiziente Recycling von Li-Ionen Batterien (EarLiMet) – Qualifizierung der baustoffkundlichen Tauglichkeit von Batterierecycling-Schlacken

2.3.2 Industrielle Forschungsprojekte

- Quarzhaltige Lithiumdisilicat Dental-Glaskeramiken (Ivoclar)

2.4 Veröffentlichungen

2.4.1 Artikel in referierten Fachzeitschriften

- *A. Zandonà / B. Paiva da Fonseca / G. Hensch / V. Olszok / M.J. Pitcher / H. Bazzouli / A.P. Weber / M. Allix / J. Deubener*
Structural features and thermal expansion of zinc aluminosilicate quartz solid solutions
J. Eur. Ceram. Soc. 44 (2024) 7769-7777.
<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2024.05.046>.
- *S. Selle / H. Bornhöft / J.C. Wendel / J. Deubener*
Overview of the precipitates in a ground-coat vitreous enamel using analytical TEM
Glass Eur. 2 (2024) 95-114.
<https://doi.org/10.52825/glass-europe.v2i.1269>
- *P.G. Jensen / L. Belmonte / K.H. Rasmussen / M. Solvang / E.D. Bøjesen / T. Peter / J. Deubener / Y. Yue*
Non-monotonic dependence of high-temperature stability of stone wool fibres on preoxidation time and temperature
J. Non-Cryst. Solids 640 (2024) 123131.
<https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2024.123131>.
- *S. Gogula / H. Bornhöft / L. Wondraczek / M. Sierka / A. Diegeler / R. Müller / J. Deubener*
Optical real-time castability evaluation for high-throughput glass melting
Glass Eur. 2 (2024) 83-93.
<https://doi.org/10.52825/glass-europe.v2i.1359>

- *A. Zandonà / V. Casting / A.I. Shames / G. Hensch / A. Pirri / G. Toci / J. Deubener / M. Allix / A. Goldstein*
Effect of the interaction between basicity and reductive character of melting atmosphere - both extreme – on the oxidation and coordination states assumed by transition metals when doped to silicate glasses
J. Non-Cryst. Solids 637 (2024) 123038.
<https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2024.123038>.
- *X. Zhang / R. Sibari / S. Chakraborty / S. Baz / G.T. Gresser / W. Brenner / T. Brämer / L. Steuernagel / E. Ionescu / J. Deubener / S. Beuermann / G. Ziegmann / R. Wilhelm*
Epoxy-based carbon fiber-reinforced plastics recycling via solvolysis with non-oxidizing methanesulfonic acid
Chem. Ing. Tech. 96 (2024) 987-997.
<https://doi.org/10.1002/cite.202300243>
- *L. Ueberricke / T. Murata / H. Ikeda / S. Nakane / J. Deubener*
Crystal growth in oxide melts – from CALPHAD thermodynamic modeling to statistical prediction
Acta Mater. 273 (2024) 119960.
<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2024.119960>
- *A. Zandonà / G. Hensch / J. Deubener*
Nomenclature of functional crystals in glass-ceramics: a recommendation based on aluminosilicate solid solutions
J. Non-Cryst. Solids 633 (2024) 122954.
<https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2024.122954>.
- *R.G. Fernandes / S. Selle / T. Wagner / M. Menzel / J. Deubener*
Local fluctuation of the relative density of glass powders over the entire viscous sintering process
J. Non-Cryst. Solids 625 (2024) 122746.
<https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2023.122746>.

3 NACHRICHTEN

3.1 Projekttreffen im Rahmen des EU-Forschungsvorhabens „ReActiv“

Projekttreffen bei der Firma AOS in Stade

Das 7. Projekttreffen wurde am 22. und 23. Mai 2024 von Aluminium Oxid Stade GmbH (AOS) in Deutschland ausgerichtet. Alle teilnehmenden Partner, die vor Ort waren, hatten neben dem üblichen Statusupdate aus den einzelnen Arbeitspaketen auch die Möglichkeit, die Einrichtungen von AOS zu besichtigen. Dazu gehörte neben der sehr staubfreien Aluminiumproduktion auch eine Besichtigung des in die Landschaft eingebundenen Bauxitsees außerhalb des Produktionsgeländes. Der zweite Tag des Treffens endete mit einem von European Aluminium (EA) organisierten Normungs-Workshop, der sich mit den politischen und normativen Aspekten der Wertschöpfungskette von ergänzenden zementartigen Materialien auf Basis von Bauxitrückständen bis hin zur Marktführung befasste. Die neuesten Nachrichten über die Charakterisierung von Bauxitrückständen und die Registrierung im Rahmen von REACH sind sehr vielversprechend, aber es bleibt noch viel zu tun.



Teilnehmende des Projekttreffens auf dem Gelände von AOS; Kollegen:innen aus dem ReActiv Konsortium zusammen mit Prof. A. Wolter (links) und A. Blum (rechts & kl. Bild rechts).

Projekttreffen bei der Firma Holcim in Lyon

Das 8. Projekttreffen wurde am 25. Oktober 2024 von Holcim in Lyon, Frankreich ausgerichtet. Nach umfangreichen Einleitungen und Vorträgen bestand im Anschluss die Option als Teilnehmende auch das Holcim Innovation Center zu besuchen. Dazu gehörte neben einem Rundgang über das weitläufige Gelände mit verschiedenen Holcim-Projektbauten (z.B. 3D-gedruckte Brücke, „HYDROMEDIA“-permeabler Beton, einem Haus mit Verbund-Dach), der Besuch des Besucherzentrums am Standort auch eine Besichtigung des Technikums mit den im Projekt hergestellten „processed bauxite“ Betonproben.



Bild links: „Co-calcined processed bauxite (CPB)“ Wandprobe mit verschiedenen Oberflächenbearbeitungen nach dem Guss. Bild rechts: 3D gedruckte Brücke.

3.2 97. Glastechnische Konferenz der DGG & HVG in Aachen

Im Zeitraum vom 27. - 29.05.2024 fand in den modernen Räumlichkeiten des Eurogress, Aachen, die 97. Glastechnische Konferenz der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft (DGG) statt. Prof. J. Deubener (Vorsitzender des Vorstands der DGG), Dr. T. Jüngling (Geschäftsführer HVG-DGG) und Prof. C. Roos (Programm-Verantwortlicher) leiteten die Tagung in Aachen, die mit knapp 300 Teilnehmenden aus über 20 Nationen sehr erfolgreich war. Der glastechnische Fokus der Konferenz lag auf dem Gebiet der Nachhaltigkeit, der bezüglich verschiedener Aspekte fachlich aufgegriffen, präsentiert und diskutiert wurde.



Auf der Bühne von links: Dr. T. Jüngling (Geschäftsführer der HVG-DGG) und Prof. J. Deubener (Vorsitzender des Vorstands der DGG).

**97. Glass-Technology
Conference** 27-29 May 2024,
Eurogress Aachen



Gruppenfoto in der Foto-
box von links, 1. Reihe:
G. Hensch,
G. de Fátima da Silva,
B. Paiva da Fonseca,
F. De Moraes,
2. Reihe: S. Meyer,
B. Hagel, L. Briese (Ehe-
malige), J. Deubener,
T. Peter, A. Blum,
H. Bornhöft und
M. Maiwald (Ehemaliger)

Im Rahmen dieser von internationalem Austausch und spannenden Einblicken in die aktuelle Glasforschung geprägtem Umfeld, wurden vielfältige Beiträge aus den aktuellen Forschungsprojekten des Institutes für Nichtmetallische Werkstoffe beigesteuert:

- **Annika Blum** „Formation of solder glasses and their viscosity in the system of $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3$ “ (Vortrag)
- **Joachim Deubener** „Nomenclature of functional crystals in glass-ceramics: a recommendation based on aluminosilicate solid solutions“ (Vortrag)
- **Beatriz Paiva da Fonseca** „Zinc-stuffed Qss crystallized from sol-gel and melt-quenched glasses: structure and thermal expansion“ (Vortrag)
- **Benedict Hagel** „Melting and growth rates of diopside crystals close to liquidus temperature“ (Vortrag)
- **Gundula Hensch** „ Co^{2+} Stuffed Quartz Solid Solutions with Zero Thermal Expansion Synthesized by Sol-Gel Spray-Drying“ (Vortrag)
- **Stefanie Meyer** „FDSC study of glass-forming ability in the $\text{CaO-V}_2\text{O}_5$ and $\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-V}_2\text{O}_5$ systems“ (Vortrag)
- **Thomas Peter** „Surface metrology of (un)coated glasses using contact and non-contact methods“ (Poster)
- **Geovana de Fátima da Silva** „LIBS for „easy to use“ detection of light elements?“ (Poster)
- **Jessica Streichert (geb. Löschmann)** „Heterogeneity-induced viscosity changes in transition and post-transition metal-containing aluminosilicate melts“ (Vortrag)

Untermalt von einem unterhaltsamen Rahmenprogramm, kulinarisch abwechslungsreichen Angeboten und erfolgreichen Poster-Vorstellungen, konnte die Konferenz von allen Teilnehmenden des Institutes für Nichtmetallische Werkstoffe als erfolgreiche und schöne Zeit verbucht werden.

Voller Spannung wird nun das Augenmerk auf die 98. Glastechnische Tagung, welche vom 26. - 28.05.2025 in Goslar stattfindet, gerichtet. Örtlich begleitend für diese Konferenz, werden auch bei diesem kommenden Event im 250ten Jubiläumsjahr der Technischen Universität Clausthal vielfältige und informative Beiträge des Institutes für Nichtmetallische Werkstoffe zu erwarten sein!



3.3 Campuslauf

Am 04.06.2024 fand der 35. Clausthaler Campuslauf statt. Dieser wurde zusammen mit dem Campusfest im Feldgrabengebiet gefeiert. Die Arbeitsgruppe Glas beteiligte sich an dem Lauf mit jeweils einer Runde von 2,8 km und wir schauen zurück auf ein toll organisiertes Event mit sportlichen Läufen, riesigem Kuchenbuffet, Getränken, Smoothies und alkoholfreiem Bier aus unserer Forschungsbrauerei sowie auf den Einsatz vom TU Maskottchen Claus Thaler - unserem HiWi Hosea! Unsere Kollegin Gundula Helsch konnte in ihrer Altersgruppe sogar aufs Treppchen laufen und erreichte den 3. Platz. Wir gratulieren ganz herzlich!



Die Teilnehmende am Campuslauf aus der Arbeitsgruppe Glas von links: Thomas Peter, Annika Blum, Stefanie Meyer, Geovana de Fátima da Silva, Gundula Helsch, Beatriz Paiva da Fonseca und Enzo Henrique Miguel.



Gundula Helsch gewann in der Laufgruppe „Ü40“ den 3. Platz.

3.4 Verabschiedung des Kollegen Dr. Hansjörg Bornhöft am 31.07.2024 in den Ruhestand

Am 31.07.2024 wurde unser langjähriger Kollege Dr.-Ing. Hansjörg Bornhöft in den wohlverdienten Ruhestand verabschiedet. Als Diplom Mineraloge und Doktor der Ingenieurwissenschaften wechselte er im November 2005 vom Fraunhofer Institut in Stuttgart in den Harz und war seitdem als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Glas angestellt. Er ließ es sich nicht nehmen, an seinem letzten Arbeitstag einen Workshop in der Glashütte zu veranstalten, bei dem jeder die Chance hatte, selbst mit Glas zu arbeiten. Bei Getränken und Essen vom Grill konnten wir so einen schönen gemeinsamen Abschluss haben und den Tag ausklingen lassen. Wir wünschen ihm alles erdenklich Gute für den Ruhestand und der bevorstehenden Weltreise.



Verabschiedungsgruppenfoto von links: G. de Fátima da Silva, S. Schildhauer, F. de Moraes, R. Wendelstorf, G. Helsch, A. Blum, S. Meyer, B. Hagel, H. Bornhöft und J. Deubener.



Workshop in der Glashütte Clausthal-Zellerfeld mit aktiven & ehemaligen Kollegen:innen des Instituts für Nichtmetallische Werkstoffe sowie Freunden & Verwandten.

3.5 Preisverleihung an Prof. Joachim Deubener auf der Jahrestagung „International-Commission on Glass (ICG)“ in Incheon (Korea)



Prof. Joachim Deubener wurde auf der Jahrestagung der International Commission on Glass 2024, die im südkoreanischen Incheon stattfand, den W.E.S. Turner Award verliehen.

Die „International Commission on Glass“ (ICG) ist eine weltweit tätige Gesellschaft auf dem Gebiet der Glastechnologie, die sich in ihrer Branche der nachhaltigen Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft verschrieben hat. Seit 2002 vergibt die ICG den W.E.S. Turner-Preis und belohnt damit diejenigen, die sich in ihren technischen Komitees herausragend engagiert haben. Prof. Joachim Deubener erhielt die Auszeichnung auf dem viertägigen ICG-Jahrestreffen in Südkorea, auf dem annähernd 400 Teilnehmende aus aller Welt beteiligt waren.

Am Institut für Nichtmetallische Werkstoffe der TU Clausthal leitet Prof. Deubener das Fachgebiet Glas und Glastechnologie. Von 2021 bis März 2024 war er Dekan der Fakultät für Natur- und Materialwissenschaften. Ab April des kommenden Jahres wird er im Präsidium der Universität die Aufgabe als Vizepräsident für Forschung, Transfer und Transformation übernehmen.

Der W.E.S. Turner Award geht zurück auf Prof. William Ernest Stephen Turner (1881 – 1963). Der britische Chemiker (University of Sheffield) ist Begründer der Gesellschaft für Glastechnologie seines Landes und war der erste Präsident der 1933 zusammen mit Spanien, USA, Frankreich, Italien und Deutschland gegründeten ICG.

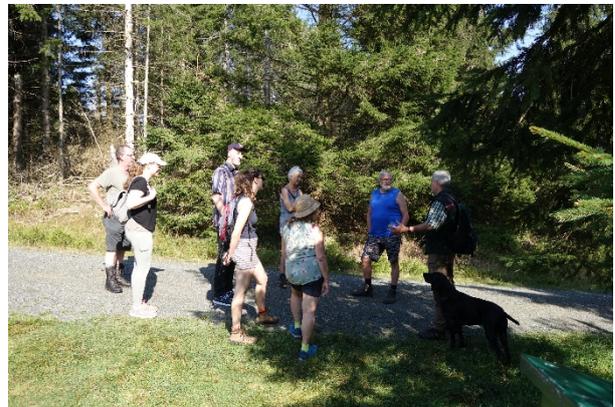
3.6 Wandertag 2024

Am 5. September ging es in diesem Jahr bei schönstem Wanderwetter zunächst per PKW zum Torfhaus. Im dortigen Nationalpark-Revier ist der Kollege Ralf Putzig als Jäger unterwegs und so nutzten wir die Möglichkeit, uns das Revier mal näher anzuschauen.

Freundlicherweise hatte sich dazu der Chef im Revier, Nationalpark-Förster August Bock, Zeit genommen, um mit uns durch den Nationalpark zu wandern und uns die vielfältigen Biotope von Trockenrasen bis Hochmoor und ihre Bewohner, zu denen auch Wolf und Luchs gehören, launig und informativ näher zu bringen. Bevor es losging, gab es aber erstmal eine kleine Einführung und dazu Kaffee und Kuchen am Forsthaus. Danach ging es dann auf einen Rundweg bis zum Torfhaus-Hochmoor. An verschiedenen Stationen gab es dabei von Herrn Bock viele Informationen zu Pflanzen, Tieren und Landschaft und viele interessante Anekdoten dazu. Detailreich wurden auch die zahlreichen Fragen beantwortet, so dass es wirklich viele neue Erkenntnisse gab.

Zurück am Forsthaus ging es nach einer kleinen Abschlussbesprechung mit unseren PKWs in Fahrgemeinschaften zum Sperberhaier Dammhaus, wo wir zum Mittagessen angemeldet waren, zu dem noch einige Nicht-Wanderer hinzukamen. Einige wanderten nach dem leckeren und ausgiebigen Essen sogar noch zurück nach Clausthal. Der Rest fuhr im Auto.

Vielen Dank für die Organisation an Ralf Putzig (Wanderung) und Sabrina Schildhauer (Essen) und für Kaffee und Kuchen an Annika Blum mit Unterstützung von Stefanie Meyer.



Stärkung mit Kaffee & Kuchen im Forsthaus Torfhaus und bei der Erklärungsrunde kamen noch Zuhörer hinzu.



Info-Pfad Waldwandelweg und eine erfrischende Abkühlung in der Abbe.



Ein schöner Ausblick auf das Hochmoor.



Die Wandergruppe am Luchs-Denkmal.

3.7 Zukunftstag in Niedersachsen

Im Rahmen des Zukunftstages erhielt am 25. April die Arbeitsgruppe Glas des Instituts für Nichtmetallische Werkstoffe Besuch von fünf Schülerinnen und Schülern der 5. Klasse. Der Zukunftstag soll Kindern und Heranwachsenden einen Einblick in vielfältige Berufsperspektiven geben. Die im Institut durchgeführten Aktivitäten weckte das Interesse der Besuchenden und sie hatten die Möglichkeit, sich von der Vorbereitung der Lösungen aus Titanoxid und der Tauchbeschichtung der Proben zur Bildung einer Antireflexbeschichtung bis hin zur Charakterisierung der Proben mittels optischer Mikroskopie, Rasterelektronenmikroskopie, Profilometrie und Transmissionsmessungen zu beteiligen. Sie konnten auch das Schmelzen und Gießen von Glas beobachten.



Betreuerin Frau Dr. Gundula Helsch mit den Schülerinnen und Schülern im chemikalischen Labor (linkes Bild) und Herr Dipl.-Ing. Thomas Peter bei der Vorführung des Rasterelektronenmikroskops (rechtes Bild).

3.8 International Symposium on Quartz and Glass in Göttingen

Der Monat September, der von Konferenzen geprägt war, begann mit dem „QUARTZ-2024 International Symposium on Quartz and Glass“. Dieses Symposium fand vom 9. bis 11. September in Göttingen statt und war die vierte Ausgabe einer Reihe, die 2008 in Oslo begonnen wurde. Dr. Kirsten Techmer, eine langjährige Partnerin des Instituts, war an der Organisation der Veranstaltung beteiligt. Das Symposium hatte zum Ziel, eine umfassende interdisziplinäre Diskussion über die zukünftige Rolle von natürlichem und experimentell produziertem Quarz anzustoßen, da dieses Material aufgrund seiner breiten Vielfalt an strukturellen und chemischen Typen auf Interesse stößt.

Das Institut für Nichtmetallische Werkstoffe der TU Clausthal wurde durch Dr. Gundula Helsch und Beatriz Paiva da Fonseca mit den Beiträgen vertreten:

- „Sol-gel spray-dried Qz-ss: extension of the glass forming ability and diversity“
- "Zn and Zn/Mg-stuffed derivatives of quartz crystallized from sol-gel and melt-quenched glasses: structure and thermal expansion".

Auch die Arbeit von Benedict Hagel wurde in Form eines Posters präsentiert

- „Growth and dissolution rates of diopside crystals around the liquidus temperature studied by high temperature observation“

Der erste Tag des Symposiums war der Besichtigung der Einrichtungen des Instituts gewidmet, insbesondere dem Labor für Kathodolumineszenz, Elektronenmikroskopie und der IR-Laser-Fluorierung.



Während dieses Besuchs hatten wir die Möglichkeit, eine Mondbodenprobe zu sehen, die von der NASA bereitgestellt wurde.

Am zweiten Tag begannen die Präsentationen, die sich auf mineralogische Aspekte des Quarzes und Experimente mit Isotopen zur Datierung von Quarz konzentrierten. Am Ende des Tages genossen wir ein köstliches Abendessen im Restaurant Bullerjahn in Göttingen. Am dritten Tag hatten wir die Sitzungen mit den Titeln "Quartz glass and other glass products" und „Natural and technical glass“.

Wir bedanken uns bei den Organisatoren der Veranstaltung, die zu neuen Erkenntnissen und Verbindungen geführt haben.



Teilnehmende am International Symposium on Quartz and Glass (unsere Mitarbeiterinnen B. Paiva da Fonseca, 1. Reihe, 3.v.l. und Gundula Hensch, 2. Reihe, 3.v.l.).

3.9 13th International Symposium on Crystallization in Glasses and Liquids in Orléans (Frankreich)

Vom 24. bis 29. September 2024 fand in Orléans, Frankreich, das "13th International Symposium on Crystallization in Glasses and Liquids" statt. Diese Veranstaltung war die Fortsetzung einer Reihe erfolgreicher Tagungen, die vom TC7 der International Commission on Glass (ICG) organisiert wurden, nachdem die letzte 2017 in Segovia, Spanien, stattgefunden hatte. Die 13. Veranstaltung setzte die Tradition fort und brachte internationale Experten zusammen, um die neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der Glaskristallisation zu diskutieren.

Während des Symposiums konnten wir an 42 Vorträgen und 23 Postern teilhaben, die einen umfassenden Überblick über aktuelle und künftige Trends in diesen Fachgebieten boten. Eröffnet wurde die Veranstaltung von namhaften Vertretern des Fachgebiets, die die anhaltende Bedeutung der Forschung im Bereich der Glastechnologie hervorhoben. Dieses Symposium verschaffte uns einen interessanten wissenschaftlichen Einblick in den folgenden Sessions:

- Fundamental approaches to nucleation and crystal growth in glasses and liquids (interaction between theory, modelling and experiment) - Simulations, modelling, theory, contribution of artificial intelligence
- Developments and novel nucleation/crystallization processes (spray melting, photo-, laser-induced crystallization, sol-gel, magnetic field induced nucleation) - Crystallisation phenomena in natural glasses/melts and amorphous materials (polymers, sol-gel, metallic glasses, thin films)
- Relationships between glass structure and nucleation - Liquid phase separation, heterogeneities - Role of nucleating agents
- Advanced characterisation methods, techniques and characterization tools (in situ, high spatial and temporal resolution, detection sensitivity)
- Relationships between microstructures and properties of glass-ceramics (mechanical strength, transparency, chemical/thermal resistance, magnetic, electrical properties)
- New glass-ceramics and applications - Environmentally-friendly glass-ceramics.

Wir nutzten die Gelegenheit zur aktiven Teilnahme, indem unser Team drei Vorträge und zwei Poster beisteuerte, die auf großes Interesse stießen und zu angeregten Diskussionen führten:

- Overheating-dependent undercooling of a lithium disilicate melt – J. Deubener
- Growth and dissolution rates of diopside crystals around the liquidus temperature studied by high-temperature observation – B. Hagel
- Structure and thermal expansion of (Zn,Mg)-Qz-ss crystallized from sol-gel glasses – B. P. Fonseca
- Transformation kinetics of TiO₂/ZrO₂ crystallization in lithium aluminosilicate glasses by high temperature Raman spectroscopy – S. Meyer
- Synthesis of niobium zirconates via the sol-gel route – E. H. Miguel



Teilnehmende am International Symposium on Crystallization in Glasses and Liquids in der Parkanlage des Konferenzzentrums mit der Kathedrale von Orléans im Hintergrund.

In den Kaffeepausen hatten wir die Gelegenheit, mit Fachleuten ins Gespräch zu kommen. Ein reichhaltiges Buffet förderte in den Pausen den Wissensaustausch.



Gruppenfoto in der Fotobox von links:

Joachim Deubener, Enzo Henrique Miguel, Beatriz Paiva da Fonseca, Stefanie Meyer, Benedict Hagel und unsere ehemaligen Kollegen Alessio Zandonà & Danilo Di Genova.



Beginnende Stadtführung im Innenhof des Hotel Dupanloup.

Am Dienstag unternahmen wir eine Stadtführung durch Orléans und erkundeten die historischen Stätten der Stadt. Besonders beeindruckend war die Kathedrale von Orléans mit ihren außergewöhnlich schönen Buntglasfenstern.

Gastronomisch seitens der Tagungsorganisation bestens versorgt, konnten wir auch die Abende in geselliger Runde und mit hervorragender Küche ausklingen lassen.

3.10 Neues Hochtemperatur-Rheometer

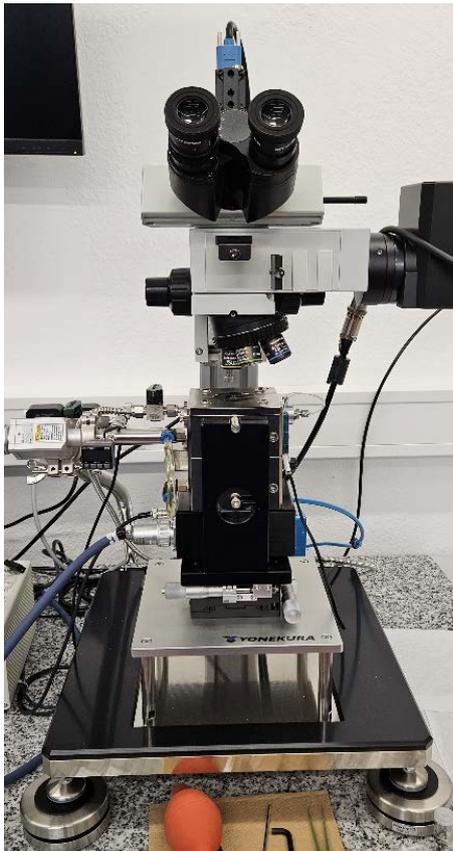
Im Herbst 2023 hat sich das Geräteverzeichnis des Instituts für Nichtmetallische Werkstoffe vergrößert. Es ist ein Hochtemperatur-Rheometer vom Hersteller „Anton Paar“ dazugekommen. Das Gerät konnte von der Firma „Knauf Insulation“ erworben werden und wurde im Institut installiert. Damit ist es möglich rheologische Eigenschaften von Gläsern bzw. Schmelzen bis zu einer Temperatur von 1600 °C zu ermitteln. Durch Rotation und Oszillation der Glasschmelze ist es möglich, verschiedene rheologische Kennwerte neben der Viskosität zu bestimmen. Für die Durchführung sind zunächst Aluminiumoxidbestecke vorhanden. Ein PtRh-Besteck soll im nächsten Jahr erworben werden.

HT-Rheometer im Schutzgehäuse.



3.11 Neues Hochtemperatur-Beobachtungsmikroskop

Seit Mitte Dezember 2023 verfügt das Institut für Nichtmetallische Werkstoffe über ein Hochtemperatur-Beobachtungsmikroskop der Firma Yonekura aus Japan. Es basiert auf einem IR-Spiegelofen, der von einer 1,5 kW Halogenlampe gespeist wird. Durch die spezielle Geometrie der Lampe und dem ellipsoiden Ofenraum wird nur die Probe im Fokuspunkt der Strahlung erhitzt. Der restliche Ofen bleibt dabei auf Raumtemperatur, somit werden hohe Heiz- und Kühlraten (~ 1000 K/min) der Probe ermöglicht. Durch ein Mikroskop und Kamerasystem können nun Wachstumsprozesse, Phasenumwandlungen und Schmelzereignisse bei Temperaturen bis 1700 °C in-situ und mit hoher lateraler Auslösung beobachtet werden.



Messgerät ohne Nebenaggregate.



Blick auf den Ofen bei laufender Messung.



Ofenraum mit kleiner Glasprobe im Platintiegel.

3.12 Neuer Hochtemperaturofen

Eine erfolgreiche Forschungsarbeit ist ohne entsprechend leistungsstarke Geräte undenkbar. Deshalb freuen wir uns im Institut sehr über die Anschaffung eines neuen, modernen Hochtemperatorkammerofens der Firma Nabertherm als Ersatz für einen in die Jahre gekommenen und sehr hoch beanspruchten Schmelzofen, der letztlich als nicht mehr reparierbar aussortiert werden musste.

Die schnelle Beschaffung wurde erst durch eine großzügige Spende des Deutschen Email Verbandes möglich, die einen Großteil der Kosten abdeckte. Dank dieser Unterstützung konnte ein bis zu Temperaturen von 1750 °C ausgelegter Hochtemperaturofen vom Typ LHT 04/17 mit Heizelementen aus Molybdän-Disilizid und zeitgemäßer Controllersteuerung mit Prozessdatenerfassung zeitnah in Betrieb genommen werden.

Wir möchten dem Deutschen Email Verband nochmals unseren größten Dank aussprechen.



Der Hochtemperaturofen in Aktion mit der ersten Glasschmelze.

