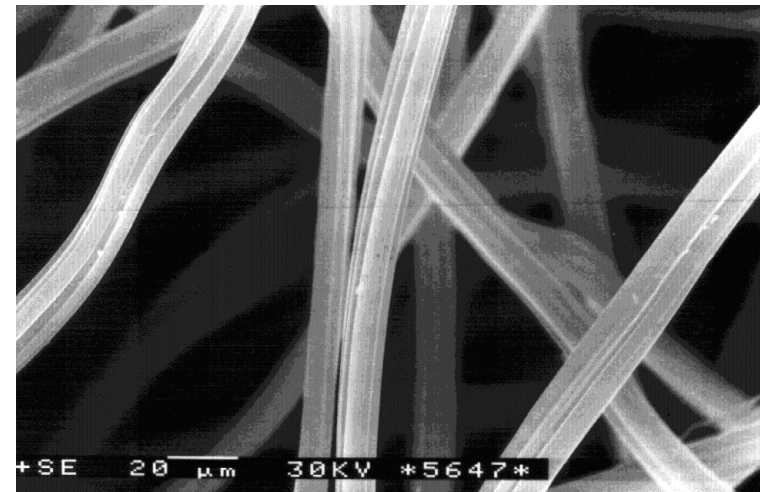
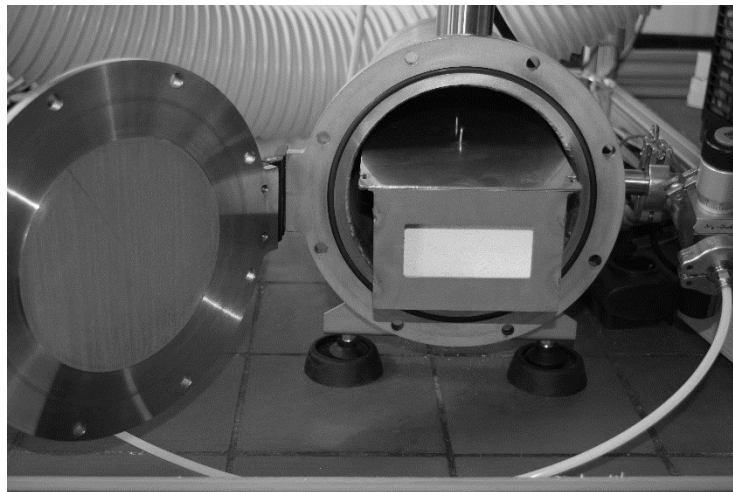


AiF-IGF-Vorhaben: „Wärmedämmung von Vakuumöfen“ 01.01.2018 - 31.12.2019

Entgasungsverhalten von oxidischen Dämmstoffen bei Raumtemperatur

Vortrag von: Reinhild Arnold



2. Aachener Ofenbau- und Thermoprozess-Kolloquium 11.10.2019

- **Entgasungsverhalten von Dämmstoffen → wichtig für Betrieb von Vakuumöfen**
- **Vakuumöfen für Wärmebehandlungen metallischer wertintensiver Werkstücke (z.B. Fahrzeug- und Turbinenteile)
→ wachsende Bedeutung**
- **Wichtige Kriterien für Auslegung einer thermischen Vakuumanlage:**
 - **Kosten**
 - **Entgasungsverhalten der eingesetzten Materialien**
 - **thermische Trägheit der Anlage**
 - **u.a.**
- **aktueller Stand für Dämmung von Vakuumöfen:
kohlenstoffbasierte Hart- oder Weichfilze (Grafitfaserdämmstoffe),
kaum oxidische Dämmstoffe**

Vorteile oxidischer Dämmstoffe

- Kostensenkung
- Wandstärkenreduzierung
- geringere Wärmeleitfähigkeit

Mögliche Hemmnisse für einen Einsatz:

- Kontaktreaktionen zwischen oxidischen Werkstoffen und Graphit
- geringere Temperaturbeständigkeit
- Ad- und Desorption von H_2O , O_2 und CO_2
- Veränderte Restgaszusammensetzung und Qualität des Vakuums im Vergleich zu Graphit
- Veränderte Evakuierungszeiten auf Grund anderer Porenstrukturen

	graphitisch		oxidisch	
Kosten (für 40mm Dicke)	hoch 500 - 800 €/m ²	-	niedriger 50 - 400 €/m ²	+
Anwendungs- temperaturen	hoch bis 2000°C	+	niedriger 800 – 1700°C	-
Wärmeleitfähigkeit bei 600°C [W/mK]	hoch 0,3	-	Faserdämmstoffe: niedrig 0,13 – 0,15 mikroporöse Dämmstoffe: noch niedriger 0,031 – 0,039	+

wärmetechnische und wirtschaftliche Vorteile beim Einsatz von oxidischen Dämmstoffen in Kombination mit Grafitfilzen sind möglich

Zielstellung des Forschungsthemas: Wärmedämmung von Vakuumöfen



- Weiterentwicklung von Vakuumöfen hinsichtlich verbesserter Wärmedämmung bei gleicher Baugröße
- Erweiterung des technischen Wissens zum kombinierten Einsatz von graphitischen und oxidkeramischen Wärmedämmmaterialien bzgl. Qualität des Vakuums, Reaktionen an Grenzflächen, Restgaszusammensetzung

Arbeitsziele:

- Identifizierung geeigneter Dämmstoffkombinationen (graphitisch/oxidisch)
 - beständig im Dauerbetrieb
 - keine negative Beeinflussung des Vakuums und der Restgaszusammensetzung
 - Verbesserte Energie- und Kosteneffizienz

→ hier nur Betrachtung der Untersuchungen bei Raumtemperatur

Oxidische Dämmstoffe

Grafitische Dämmstoffe

Hochtemperaturwollen

Faserstoffe:

- Basis Al_2O_3 , SiO_2 ... (AES, ASW, PCW)
- geringe Dichte,
- hoher TWB,
- niedrige WLF



Vakuumformteile

Formteile aus Faserdämmstoffen mit Bindemitteln verfestigt



Mikroporöse Dämmstoffe

Formteile:

- Basis SiO_2 - oder Al_2O_3 -Nanopulvern,
- sehr niedrige WLF



Feuerleichtsteine

Poröse, geformte feuerfeste Erzeugnisse:

- Basis Al_2O_3 , SiO_2 , CaO ...



Graphitfilme

Hart- oder Weichfilme:

- Basis C;
- hohe WLF
- hohe TWB



Auswahl der Dämmstoffe für die Untersuchungen



	Roh- dichte	KT	max. Dauermanwendung	Wärmeleitfähigkeit bei 600 °C
	[kg/m ³]	[°C]	[°C]	[W/(mK)]
Faserdämmstoffe/ Hochtemperaturwollen:				
AES Calcium-/Magnesiumsilikatwolle	112	1250	1100	0,14
ASW Aluminiumsilikatwolle	128	1400	1250	0,15
PCW polykristalline Wolle	90	1650	1600	0,13
Vakuumformteile				
AES (1)	220	1100	990	0,12
AES (2)	300	1300	1280	0,16
ASW	300	1250	1150	0,15
PCW	400	1700	1700	0,18
Mikroporöse Dämmstoffe:				
pyrogene Kieselsäure	220	1000	900	0,031
pyrogene Tonerde	350	1200	1080	0,039
Feuerleichtsteine				
Basis: Al ₂ O ₃	700	1700	1500	0,6
Basis: Al ₂ O ₃ + SiO ₂	900	1540	1200	0,34
Graphitfilz				
Graphithartfilz	180	2200	2200	0,3
Graphitweichfilz	140	2200	2200	0,3

Zielstellung der kalten Entgasungsversuche

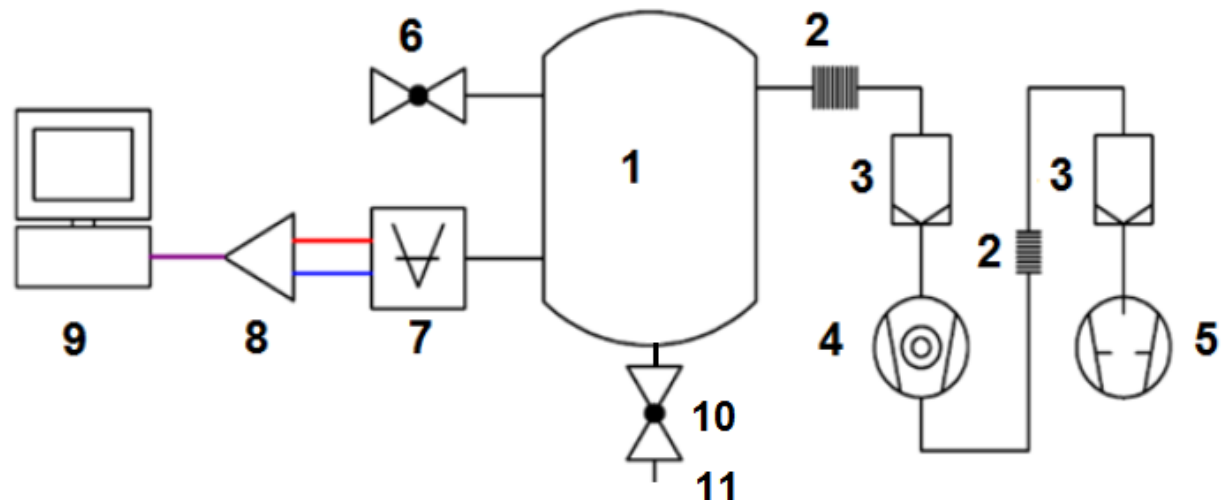
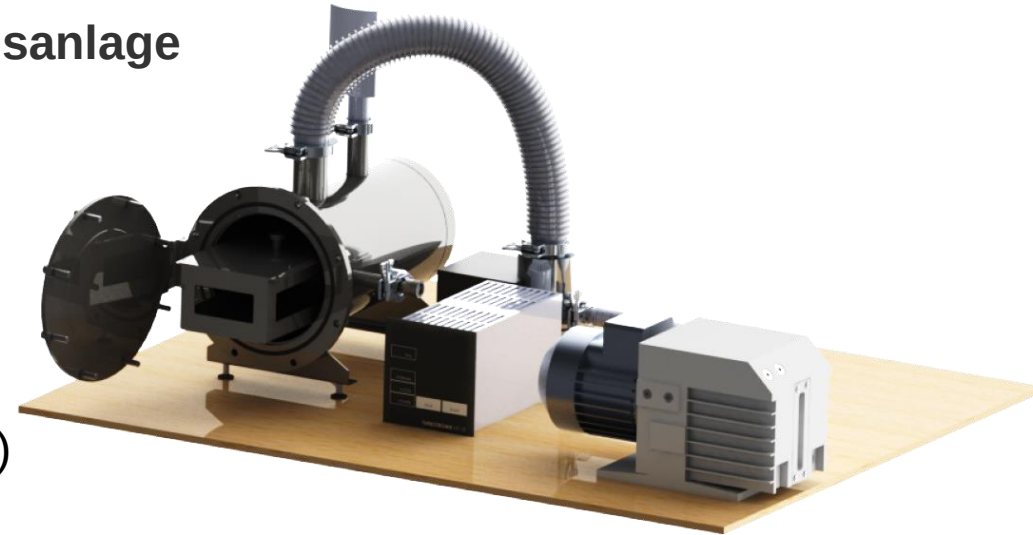
- Ermittlung der Evakuierungsdauer, Druck-Zeit-Charakteristik
- Restgaszusammensetzung
- Ermittlung spezifischer Größen bei der Entgasung unter vergleichbaren Bedingungen
- Eingrenzung von Materialkombinationen

Konzeption und Bau einer Vakuumtestkammer zur Materialcharakterisierung

- Für Probenabmessungen 250 x 120 x 80 mm
- Vakuum bis 10^{-5} mbar (leere Kammer)
- Raumtemperatur

3D-Modell und Fließschema der Versuchsanlage

- 1 Vakuumprobenkammer
(Kammervolumen ca. 10 dm³)
- 2 Verbindungsschlauch
- 3 Luftfilter
- 4 Turbomolekularpumpe
(Turbovac 50; Saugvermögen: 198 m³/h)
- 5 Drehschieberpumpe
(Trivac D 16 B; Saugvermögen: 16,5 m³/h)
- 6 Belüftungsventil
- 7 Druckmesssensor
- 8 AD-Wandler
- 9 Datenerfassung
- 10 Absperrventil
- 11 N₂-Spülung



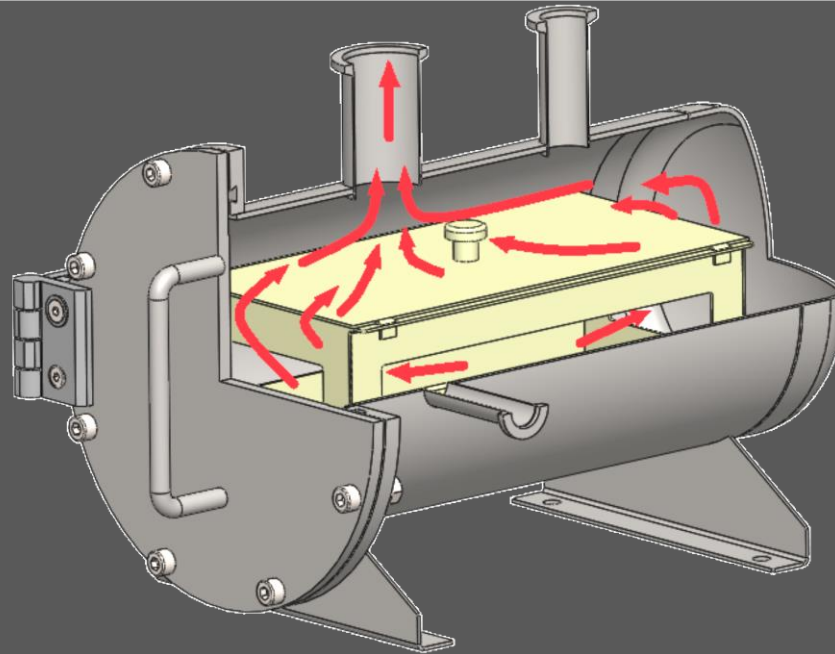
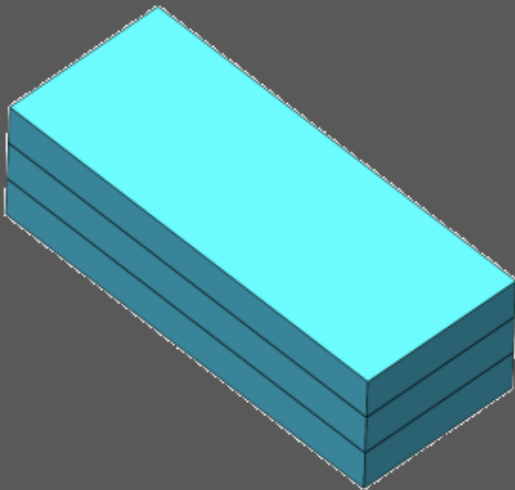
Probenkammer für Entgasungsversuche bei Raumtemperatur

Proben Abmessungen:

250 x 100 x 25 [mm]
Volumen ca. 2 [Liter]

Probenkammer Abmessung:

Innen: B x H x L: 120 x 83 x 260 [mm]



Klimakammer-Versuchsstand für die kalte Entgasung



Datenerfassung

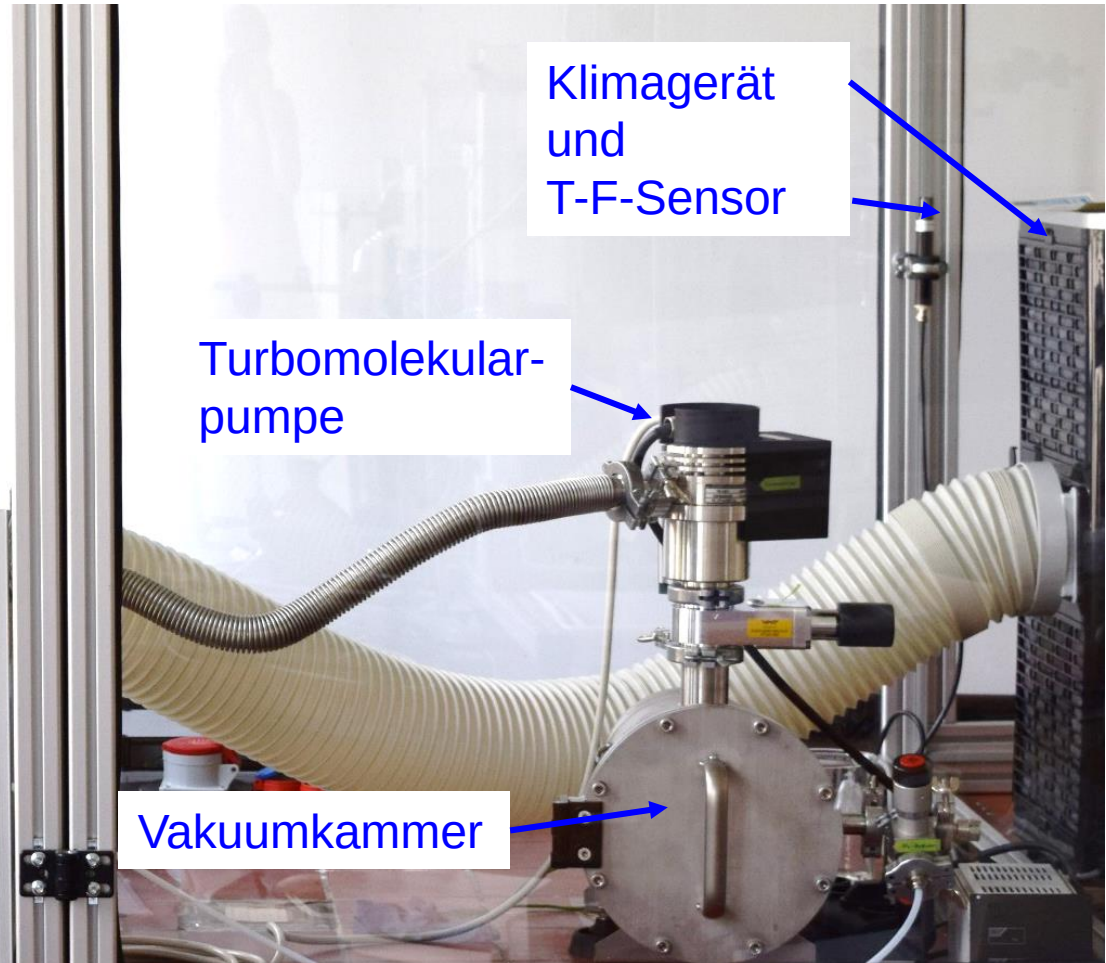


Drehschieberpumpe

Klimagerät
und
T-F-Sensor

Turbomolekular-
pumpe

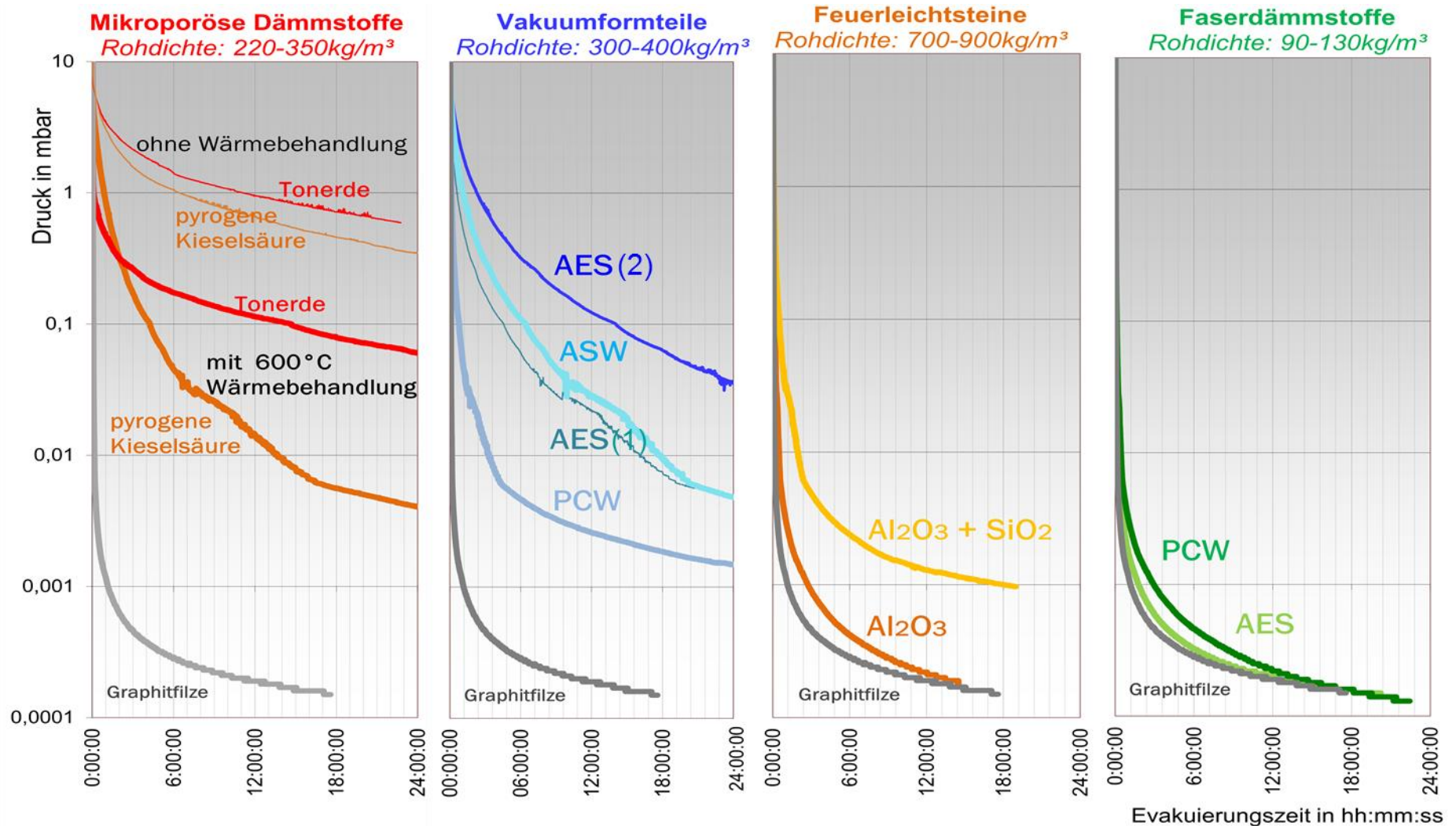
Vakuumkammer



Klimakammer

Entgasungsverhalten der Dämmstoffe bei Raumtemperatur

Vergleich der einzelnen Dämmstoffgruppen mit Graphit



Evakuierungszeiten bis 1 mbar und Masseverluste

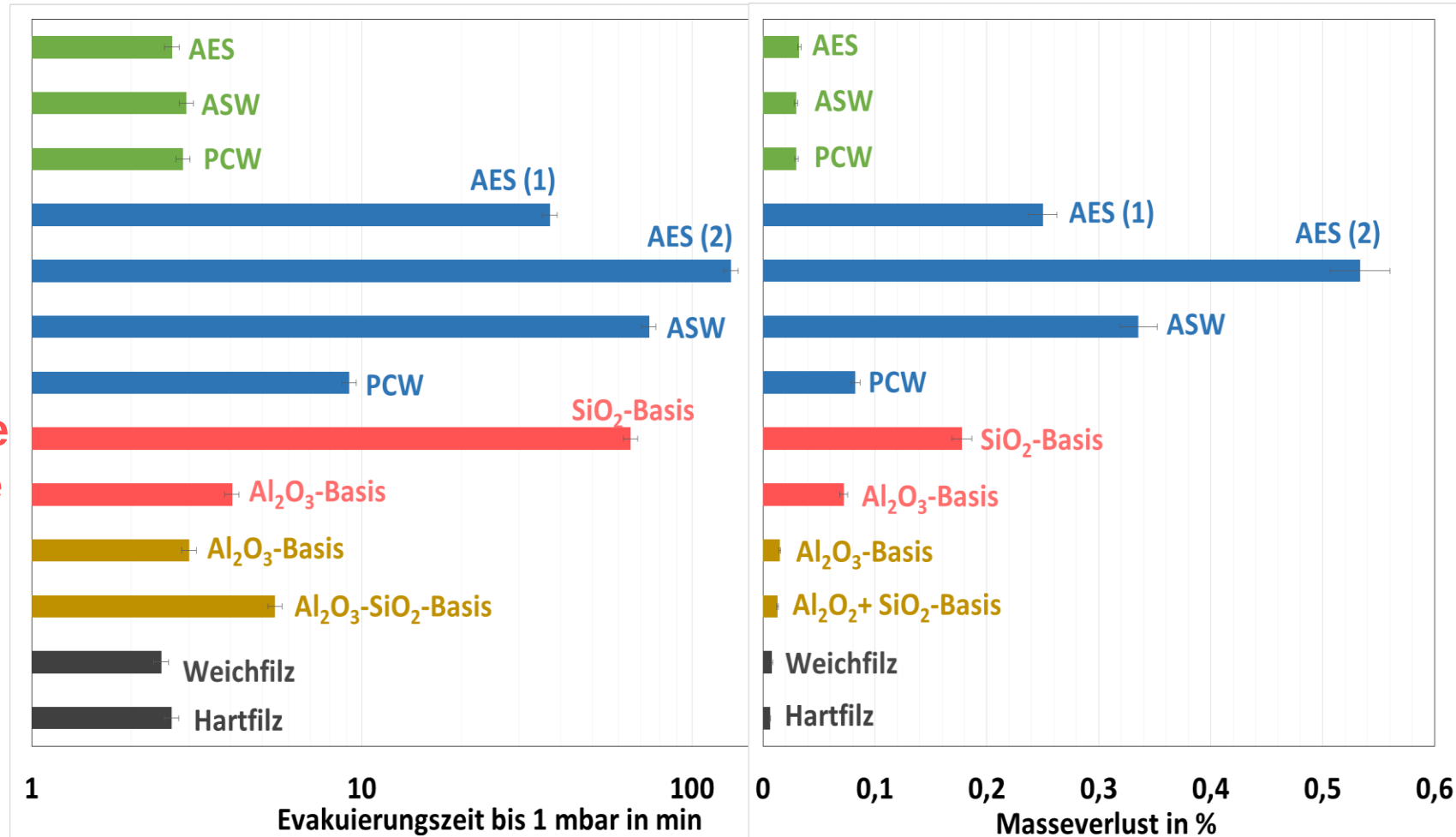
Faser-
dämmstoffe

Vakuum-
formteile

mikroporöse
Dämmstoffe

Feuerleicht-
steine

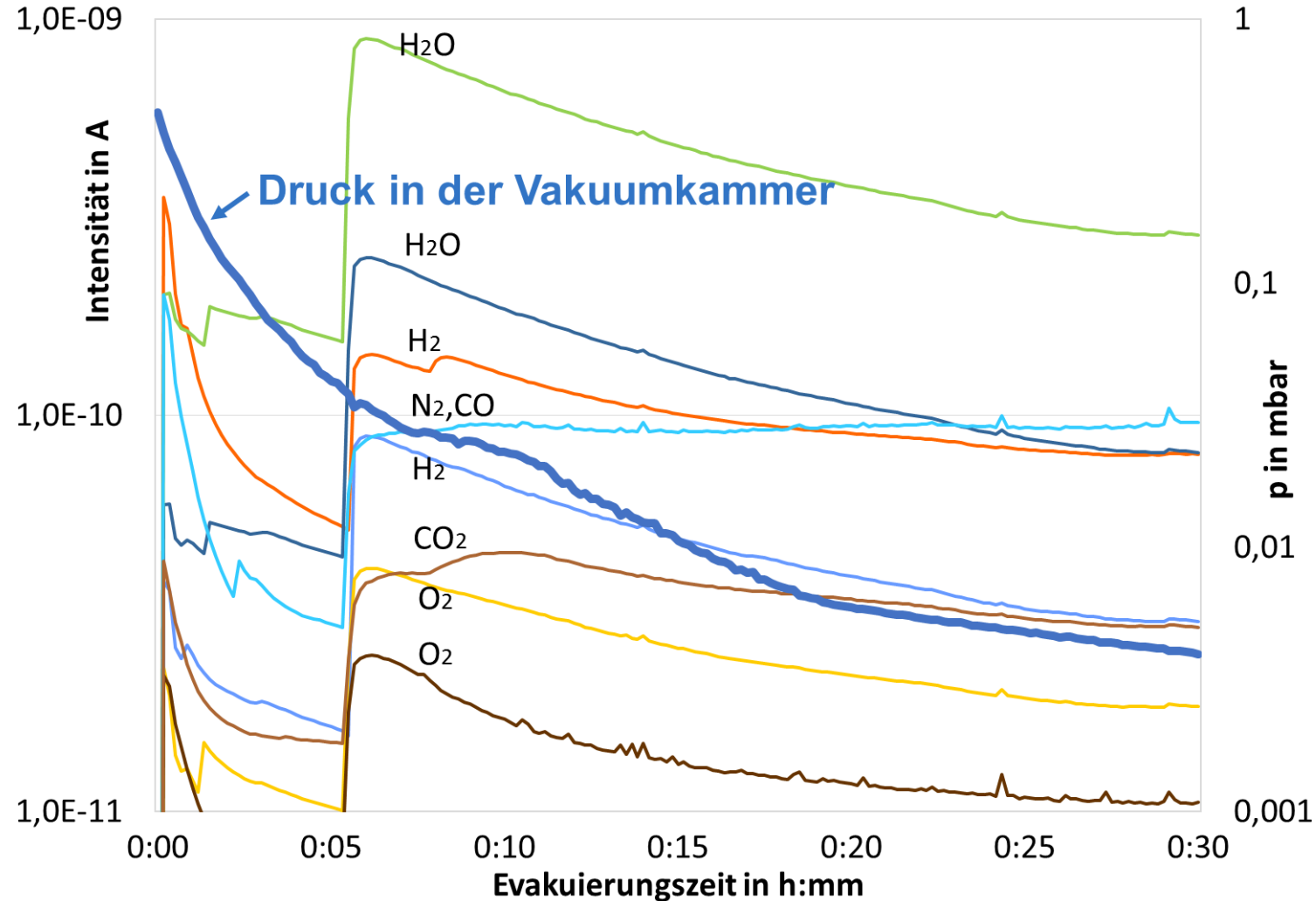
Grafit



Evakuierungszeiten bis 1 mbar korrelieren mit Masseverlusten, dabei gilt:

Graphitfilz < **oxid. Dämmwolle** < **Leichtsteine** < **Vakuumformteil** < **mikroporöse Dämmstoffe**

Restgasanalyse: am Beispiel eines ASW-Faserdämmstoffes



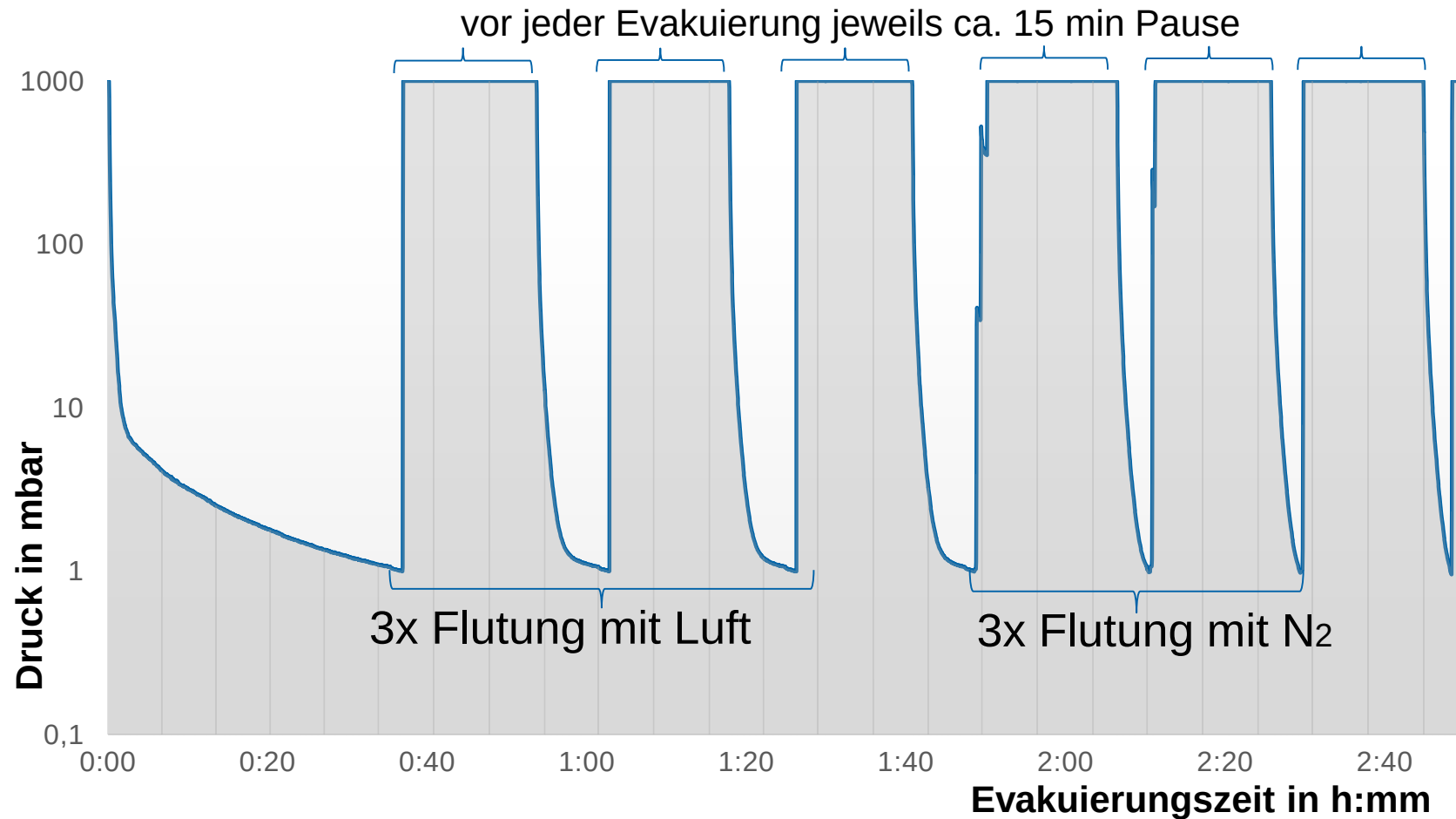
Beispiel-Diagramm: Restgasanalyse mit dem Quadropolmassenspektrometer

Dominierende Massenzahlen: 18 (H_2O); 17 (H_2O), 1+2 (H_2); 28 (N_2, CO); 16+32 (O_2), 44 (CO_2)

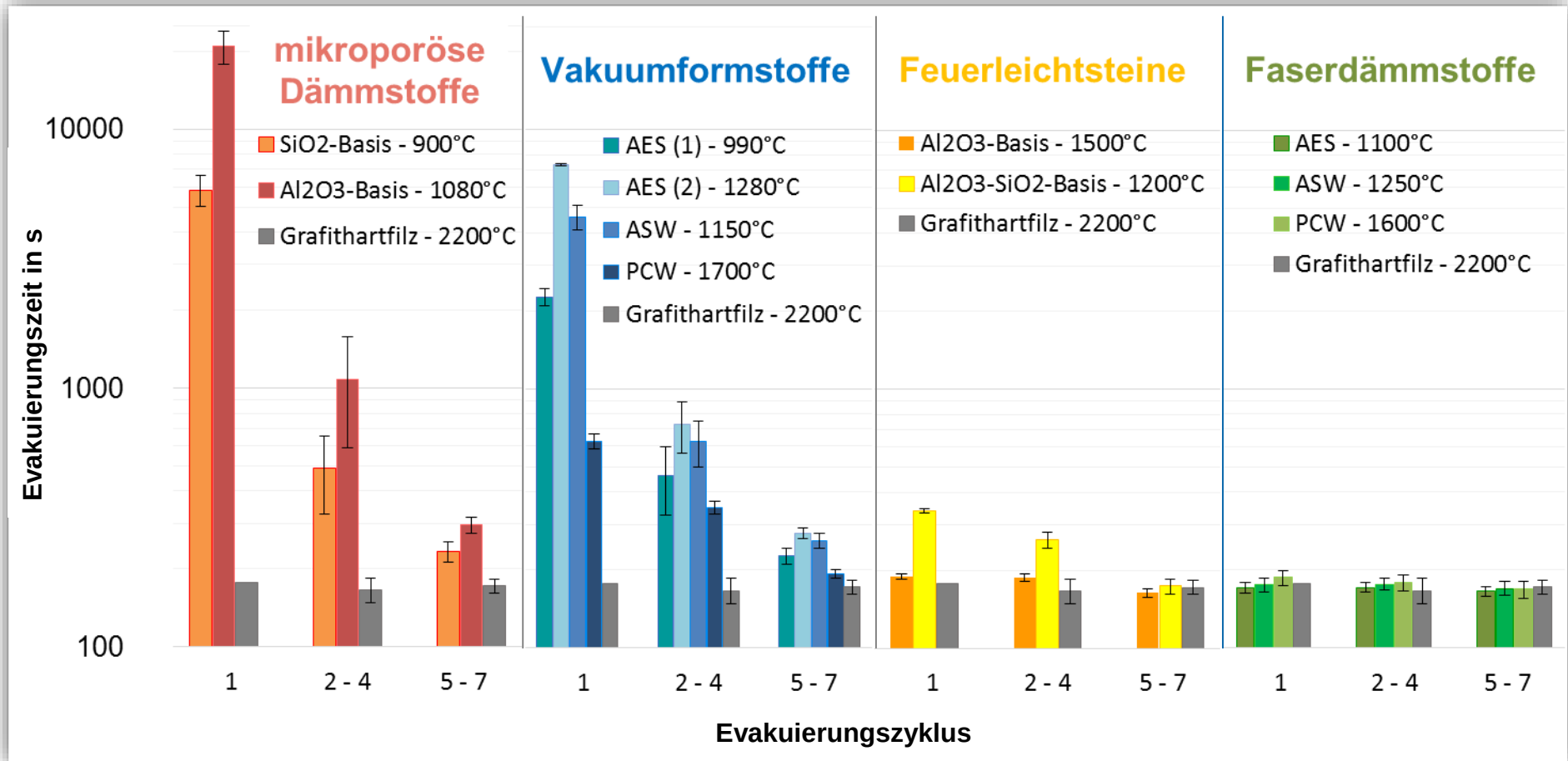
Verhalten bei zyklischer Entgasung bis 1 mbar, nach Flutungen mit Luft und Stickstoff



Beispiel p-t-Diagramm für AES(1)-Vakuumformteil, bei 21 °C, 47% rLF



Evakuierungszeiten für kalte zyklische Entgasung bis 1 mbar nach Flutungen mit Luft bzw. Stickstoff oxidische Dämmstoffe (Mittelwerte) im Vergleich zu Grafithartfilz



Zyklus 1: Erstentgasung; Zyklen 2-4: nach Luftspülung; Zyklen 5-7 nach N₂-Spülung

- Oxidische Dämmwollen und Graphitfilz haben vergleichbare Evakuierungszeiten
- Die Evakuierungszeiten der Dämmstoffgruppen verhalten sich wie folgt:

Graphitfilz

< **oxidische Dämmwolle**

< **Leichtsteine**

< **Vakuumformteile**

< **mikroporöse Dämmstoffe**

- Die Masseverluste korrelieren mit den Evakuierungszeiten bis 1 mbar
- Bei zyklischer Spülung und N₂-Spülung können die Evakuierungszeiten deutlich verkürzt werden

- Hochtemperaturuntersuchungen im Vakuumofen
- Durchführung der Versuche an Einzelmaterialien und Materialkombinationen (graphitisch/oxidisch)
 - Bestimmung von Druck und Restgaszusammensetzung als Funktion von Temperatur und Zeit
 - Masseverluste
- Durchführung von zyklischen Langzeitversuchen: Auswahl der favorisierten Dämmstoffe und Kombinationen;
- Verifizierung der Ergebnisse an einem Demonstrator

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

TU Bergakademie Freiberg,
Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik
Lehrstuhl für Gas- und Wärmetechnische Anlagen
Gustav-Zeuner-Str. 7, D-09599 Freiberg

Ansprechpartner:

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Krause

Telefon +49 (0) 3731/ 39 3940

Fax +49 (0) 3731/ 39 3942

hartmut.krause@iwtt.tu-freiberg.de

Reinhild Arnold

Telefon +49 (0) 3731/ 39 2177

Fax +49 (0) 3731/ 39 3942

reinhild.arnold@iwtt.tu-freiberg.de

