

Thermische Eigenschaften poröser Kohlenstoffmaterialien im Temperaturbereich bis 2800 °C

F. Hemberger, A. Shandy, A. Göbel
M. Wiener, H.-P. Ebert

Einsatz von Kohlenstoff basierten Werkstoffen bei hohen Temperaturen

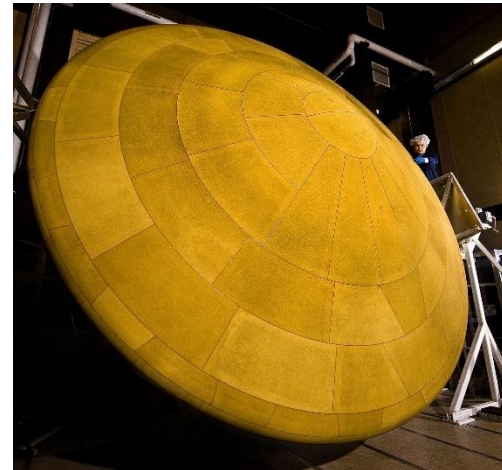
100 W(m·K)⁻¹



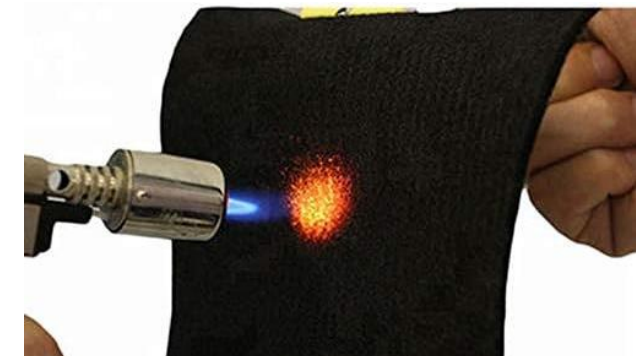
<https://www.sglcarbon.com/loesungen/anwendung/silizium-und-sic-epitaxie/#>

Wärmeleitfähigkeit

0.1 W(m·K)⁻¹



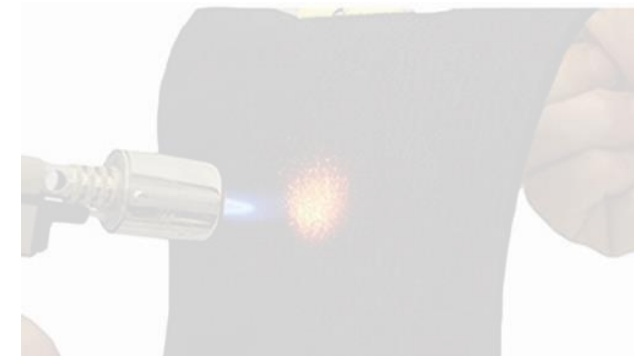
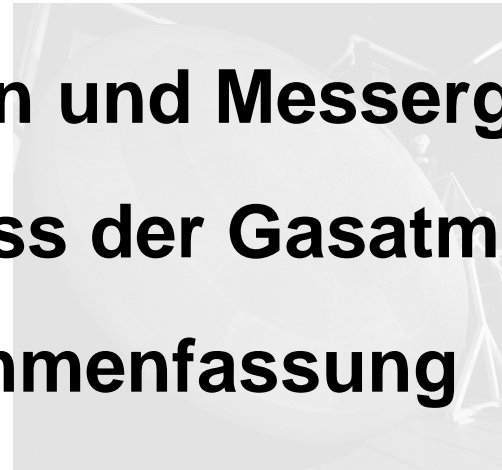
Von NASA - <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA12117>, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15478174>



Quelle: Amazon



- **Messverfahren**
- **Proben und Messergebnisse**
- **Einfluss der Gasatmosphäre**
- **Zusammenfassung**



Flashmethode – Geräte und Prinzip

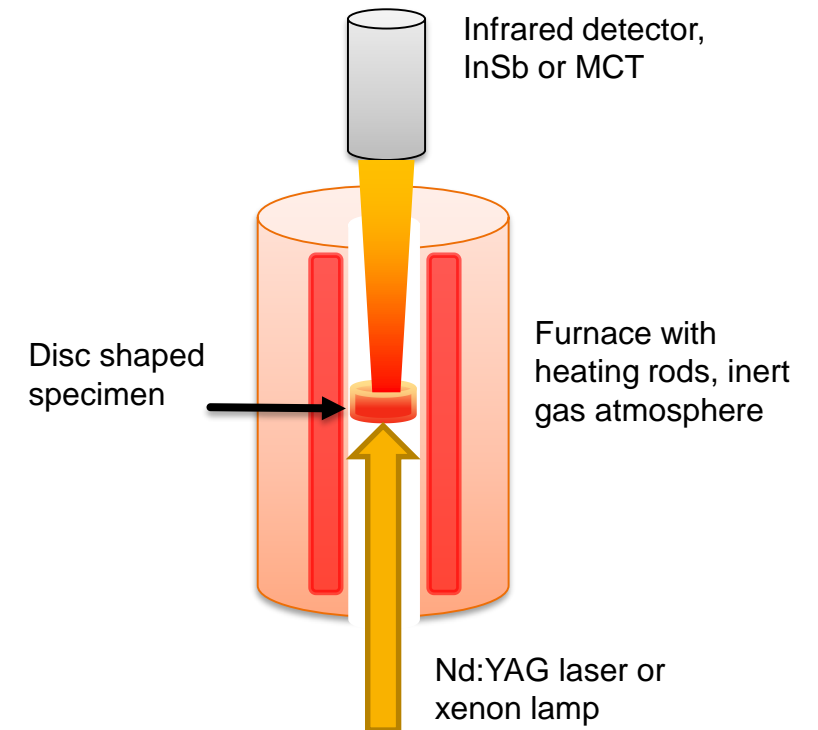
- Experimentelle Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit a



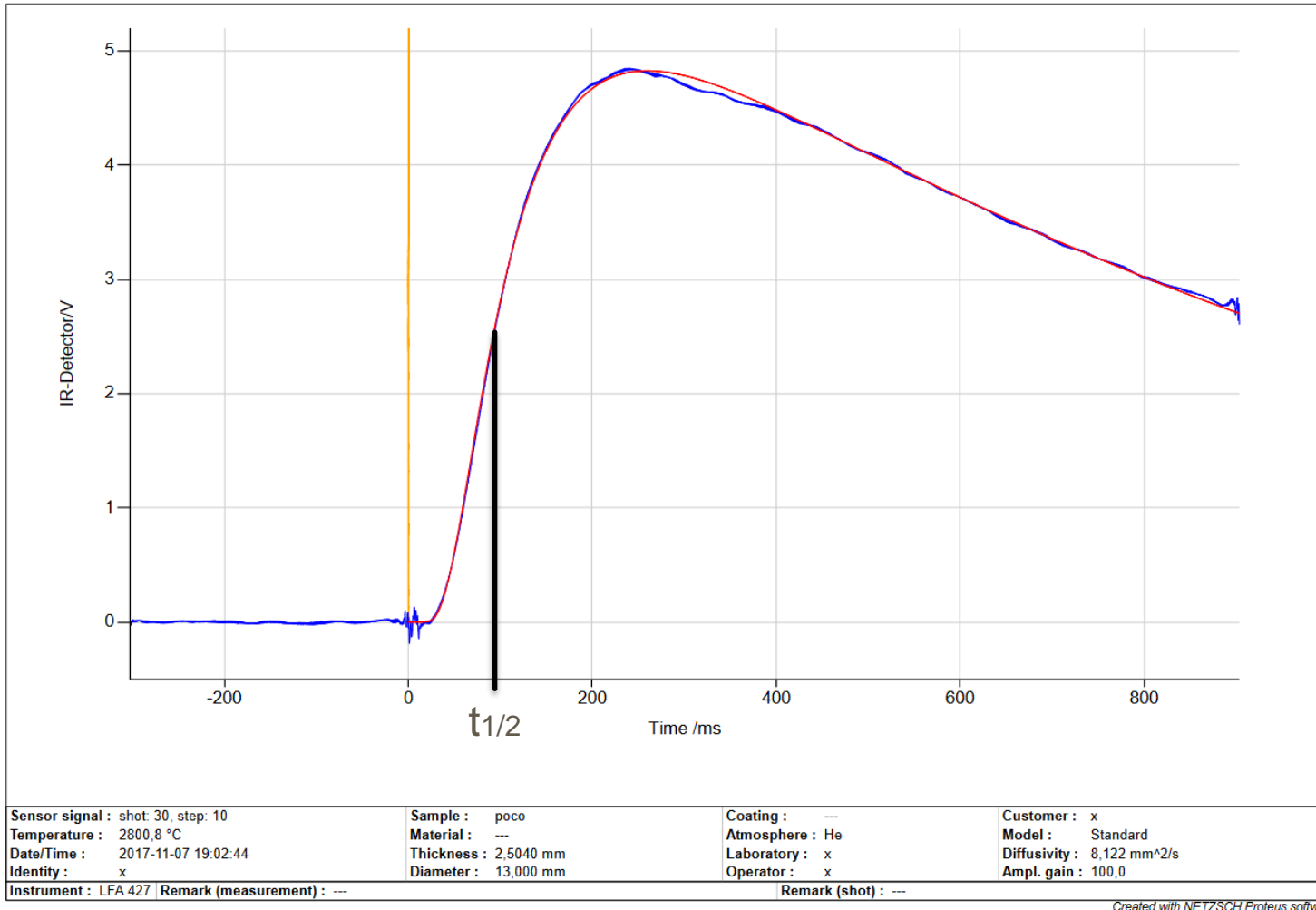
© Netzsch



Helium als Schutzgas bei
Hochtemperaturmessungen
→ Geringste Reaktionsneigung



Flashmethode - Auswertung

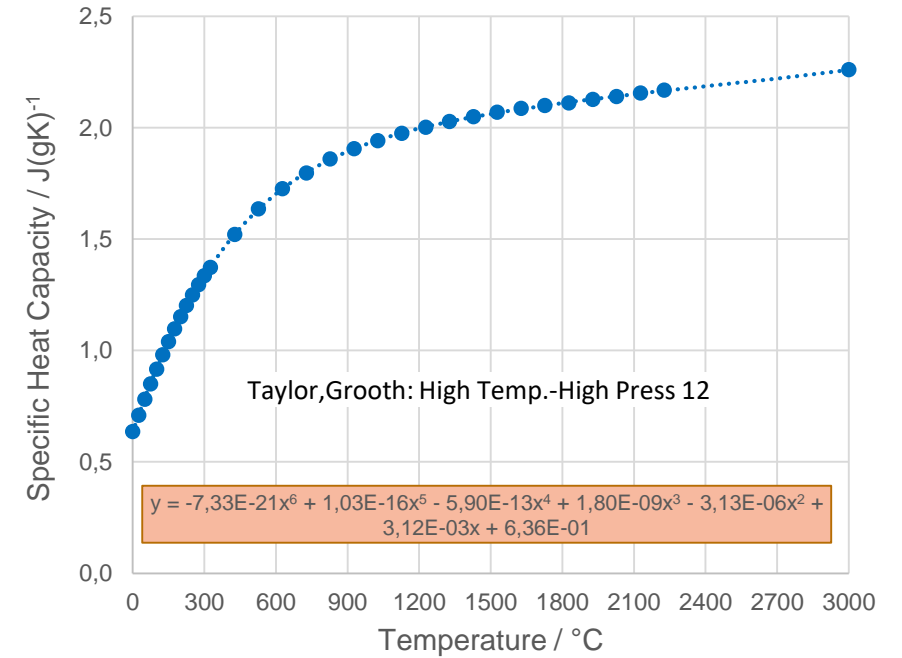
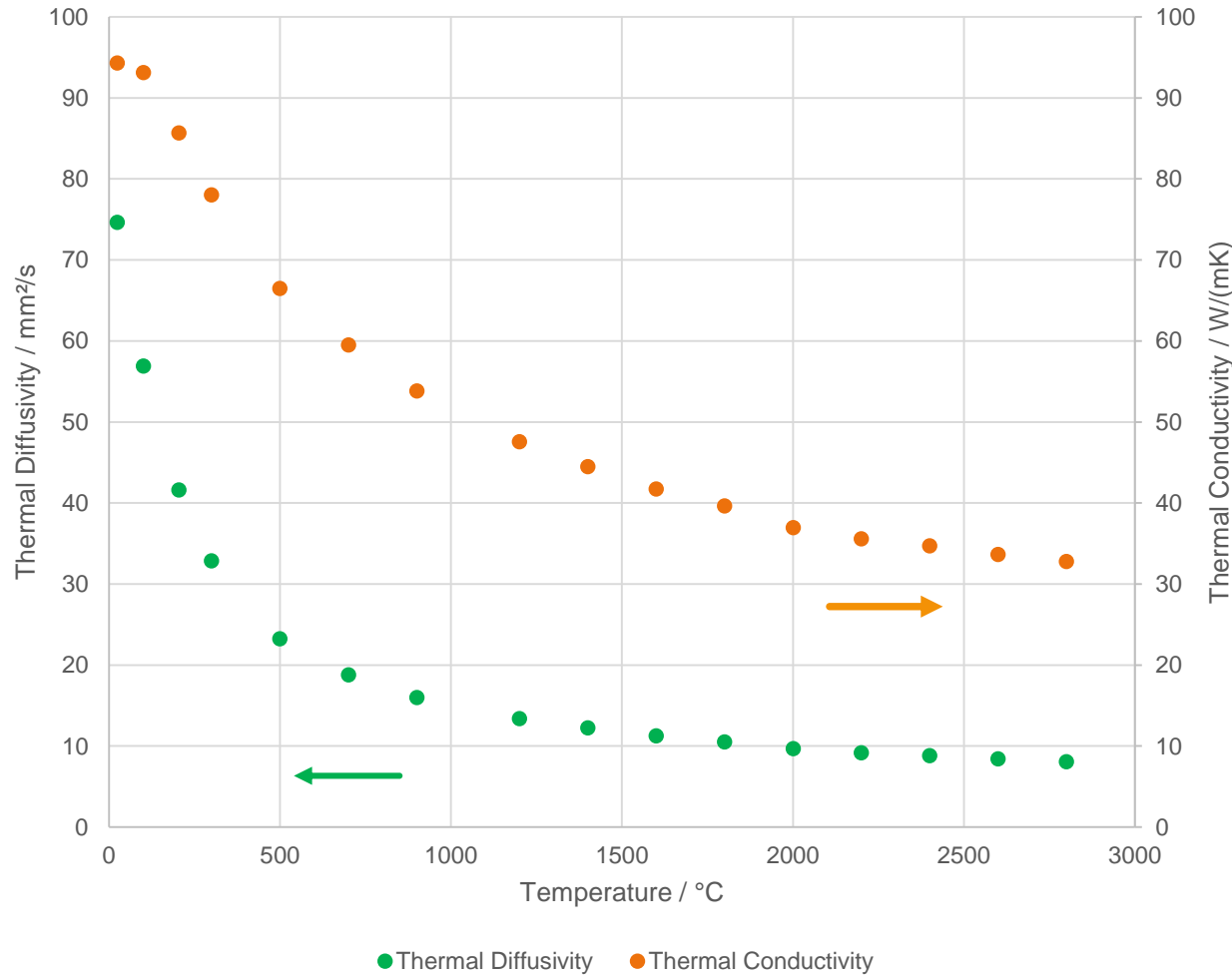


- Berechnung der Wärmeleitfähigkeit nach $\lambda = a(T) \cdot c_p(T) \cdot \rho$
- Spezifische Wärmekapazität: Literaturdaten

Specimen investigated	Remark	Density / g cm ⁻³
POCO Graphite		1.78
Carbon Hard Felt Para.	Heat flow parallel to fibre direction	0.12
Carbon Hard Felt Perp.	Heat flow perpendicular to fibre direction	0.13
ZURAM® (charred)	Measured during heating and cooling	0.285
Carbon Xerogel		0.295

POCO Graphit - Temperaturleitfähigkeit

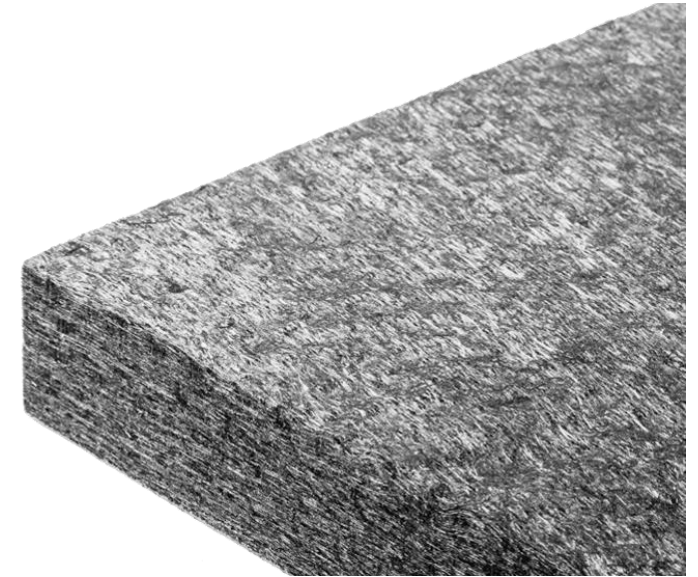
Referenzprobe zur Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität



Kohlenstoffhartfilz

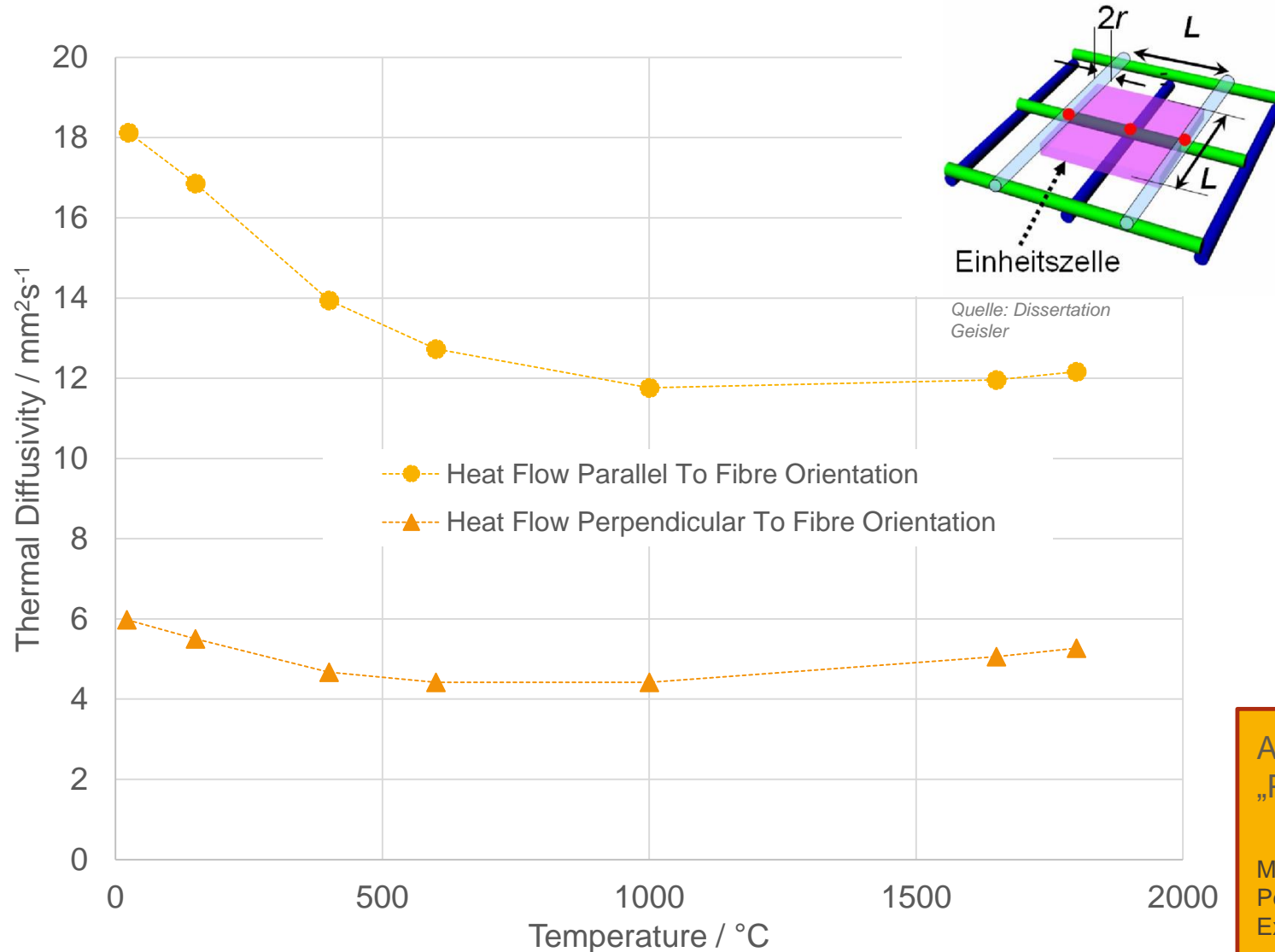
Schunk Xycarb Technology, felt grade FP2906

- Dimensionsstabiles Hochtemperatur Isolationsmaterial
- Graphitfasern mit Kohlenstoffbasiertem Binder
- Einsetzbar bis 2800 °C
- Wärmeleitfähigkeit senkrecht und parallel zur Plattenebene stark unterschiedlich



© Schunk Carbon Technology

Kohlenstoffhartfilz - Temperaturleitfähigkeit



Heat Flow Parallel To Fibre Orientation:



Heat Flow Perpendicular To Fibre Orientation :



Auswertung mit „Penetration Model“

McMasters, Beck, Dinwiddie, Wang (1999): "Accounting for Penetration of Laser Heating in Flash Thermal Diffusivity Experiments", Journal of Heat Transfer, 121,15-21

ZURAM® (charred)

- Ablatives Isolationsmaterial für Hitzeschilde
- Formkörper aus Hartkohlenstoff getränkt mit Phenolharz
- Vor der Untersuchung wurde das Material unter Argon Atmosphäre bei 1650 °C für 8 Stunden pyrolisiert

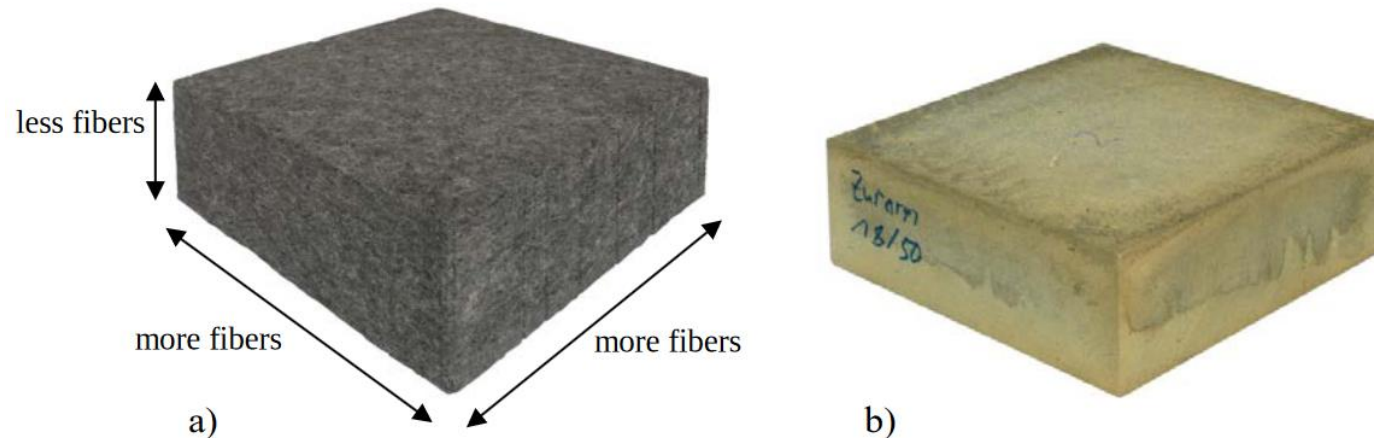
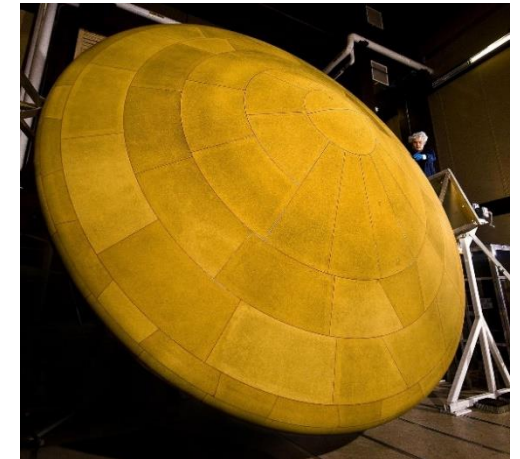


Figure 1: a) carbon fiber preform b) as-manufactured block of ZURAM.

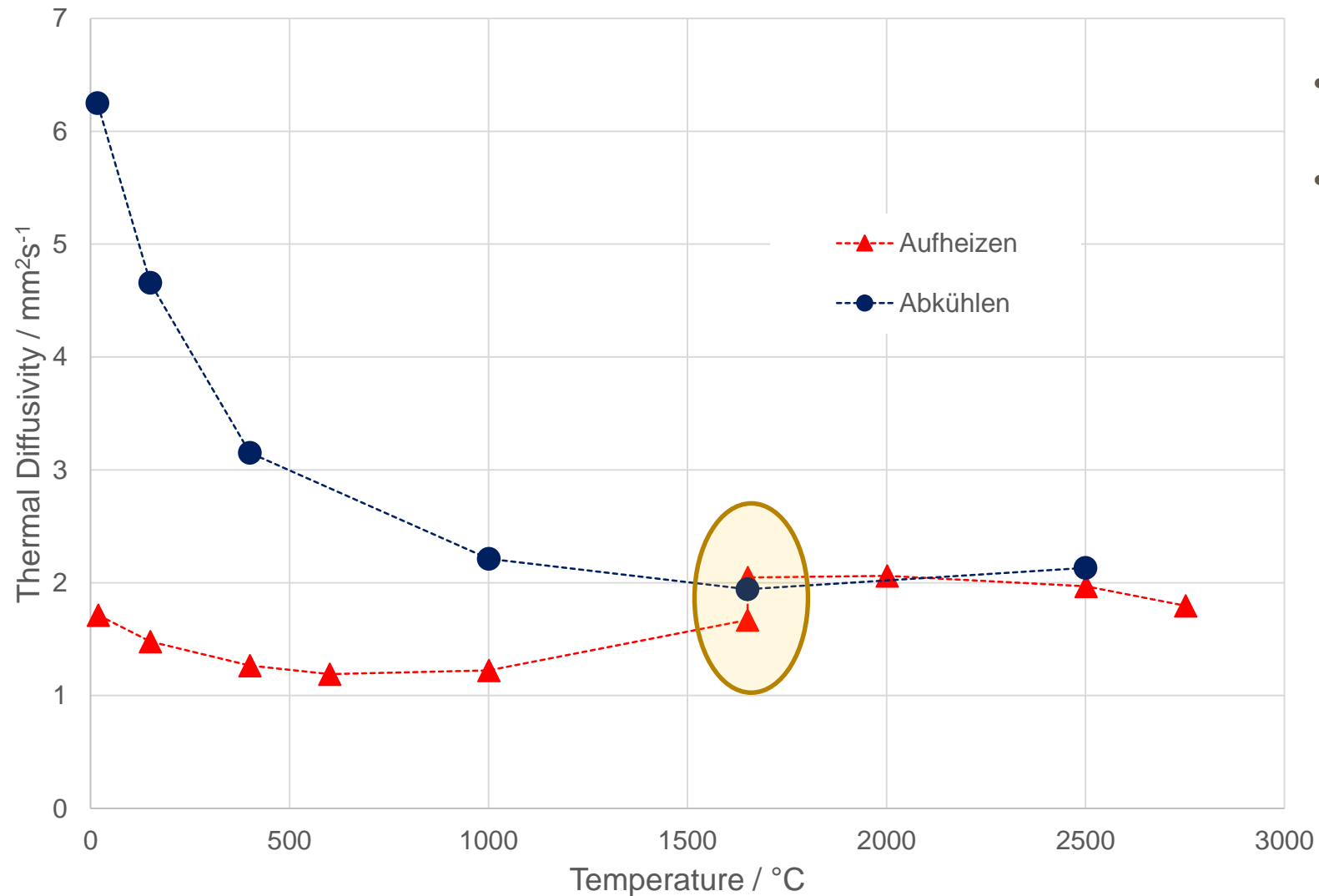
© DETERMINATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE LIGHTWEIGHT ABLATIVE MATERIAL ZURAM
 Thomas Reimer, Christian Zuber, Jakob Rieser, Thomas Rothermel

1. Helber, B. et al., "Rechar: Assessment Of Reliable Material Characterisation Methods For Charring Ablators", 2nd International Conference on Flight Vehicles, Aerothermodynamics and Re-entry Missions & Engineering (FAR) 19 - 23 June 2022. Heilbronn, Germany
2. Turchi, A. et al., "Thermal Conductivity Evolution of Carbon-Fiber Ablators", Submitted to High Temperatures, <https://doi.org/10.2514/1.T6485>



Von NASA - <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA12117>, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15478174>

ZURAM® (charred) – Bruch des Graphitheizelements in der LFA

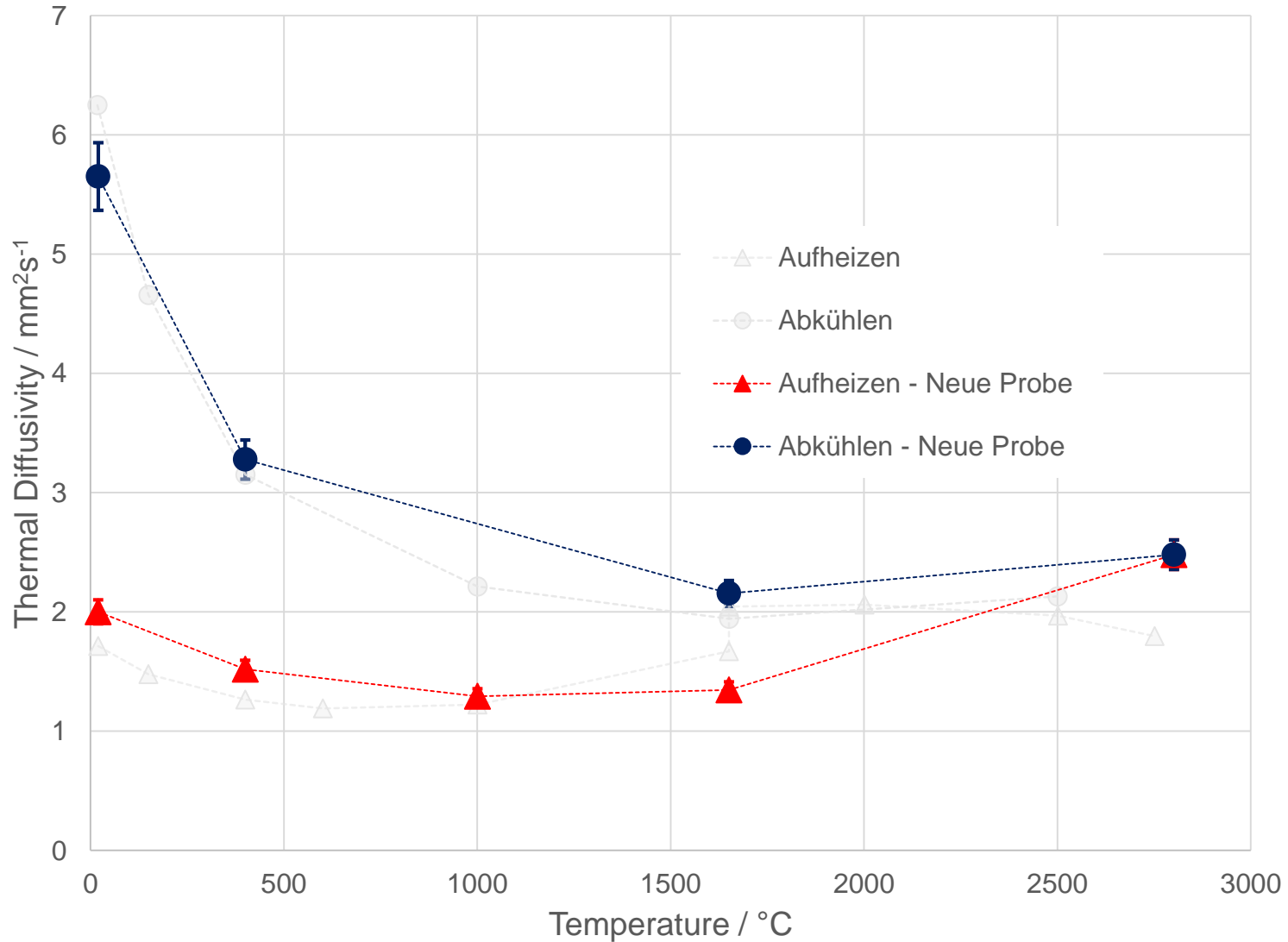


- Bruch des Graphit Heizers bei 1650 $^{\circ}\text{C}$
- Massenzunahme der Probe während der Messung



Work on ZURAM© performed under ESA contract No, 4000131694/20/NL/AR/idb

ZURAM® (charred) – Temperaturleitfähigkeit

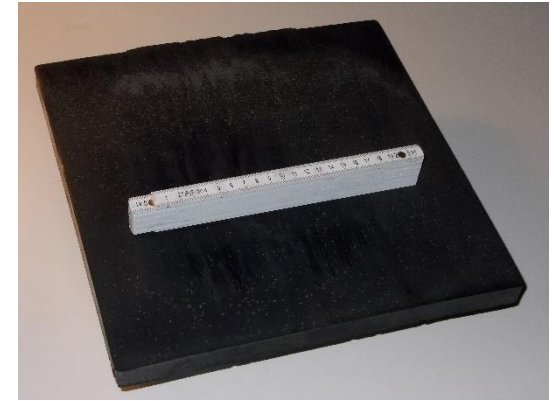
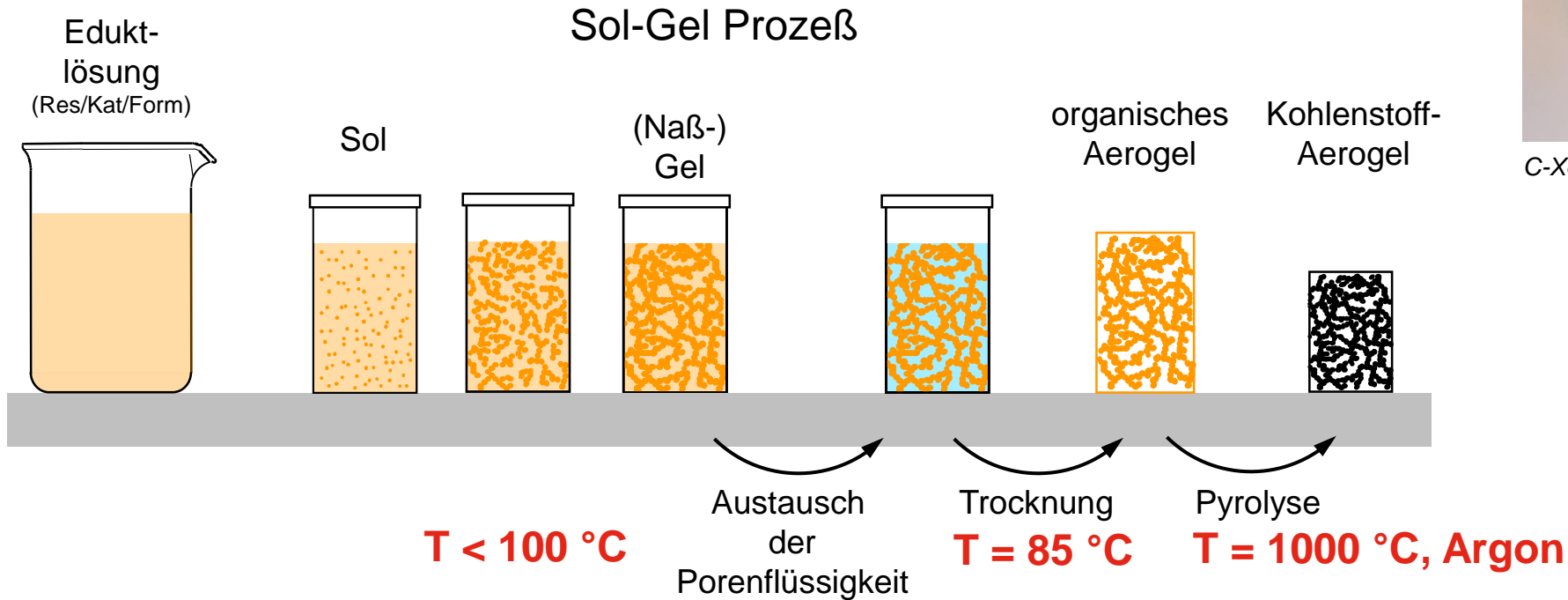


Work on ZURAM® performed under ESA contract No, 4000131694/20/NL/AR/idb



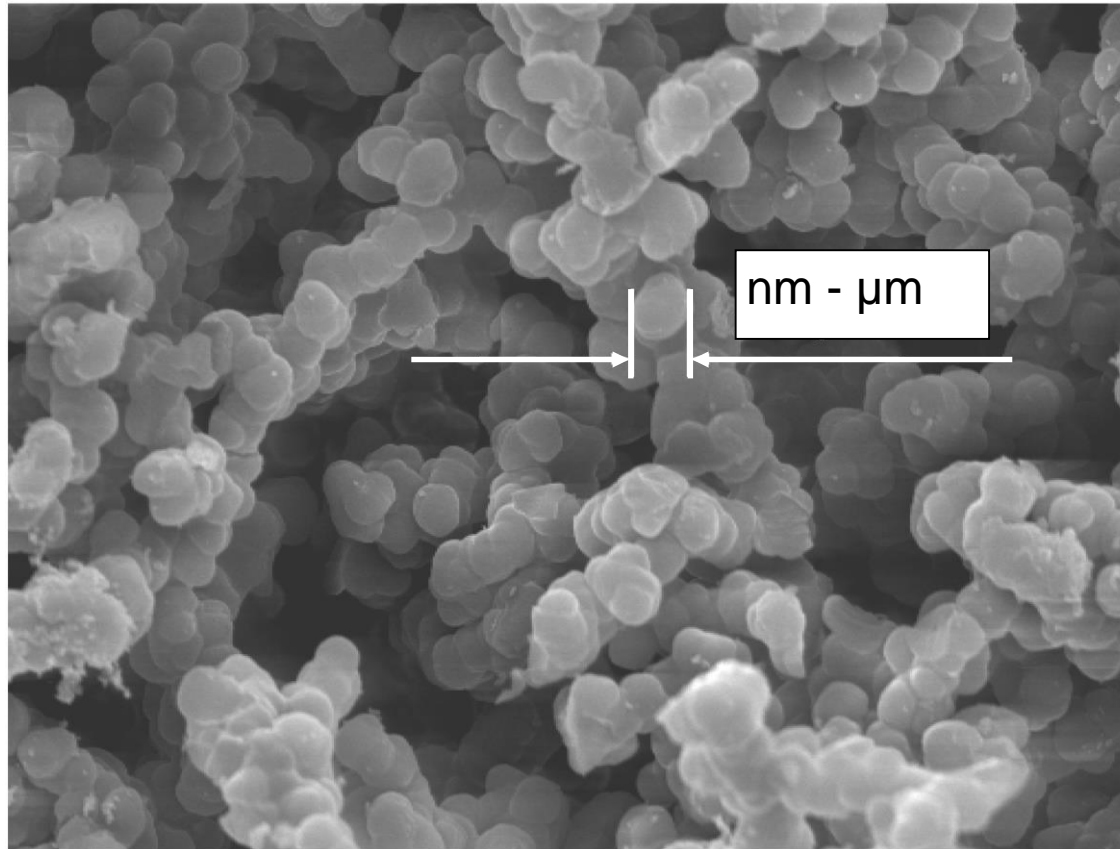
Carbon Xerogel

- Herstellung als Resorzinol-Formaldehyd Xerogel
- Pyrolyse unter Argon bei 1000 °C
- Hochtemperaturbehandlung bei 2000 °C

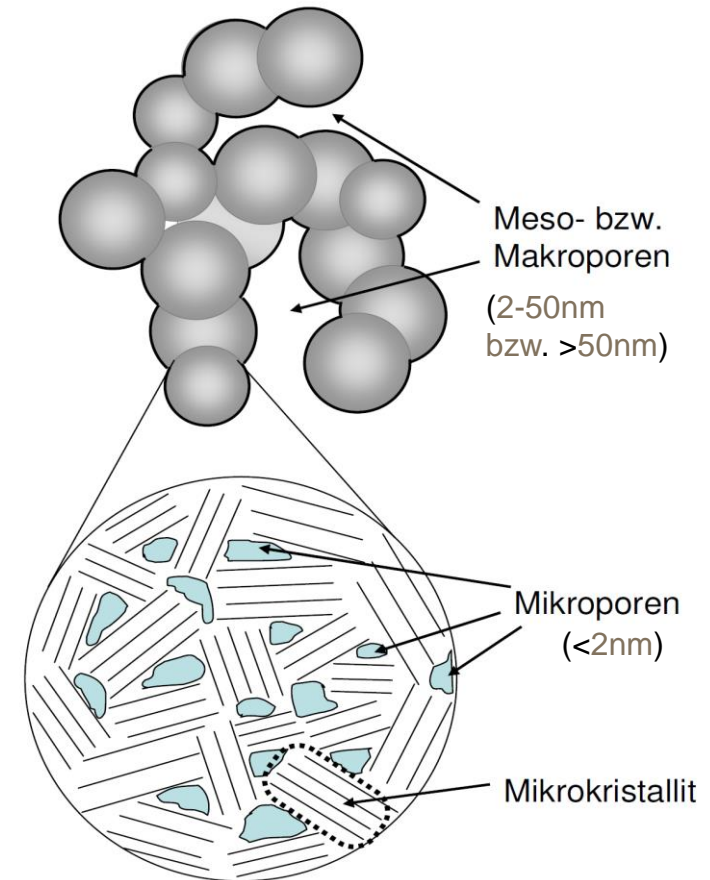


C-Xerogel Platte, ©CAE

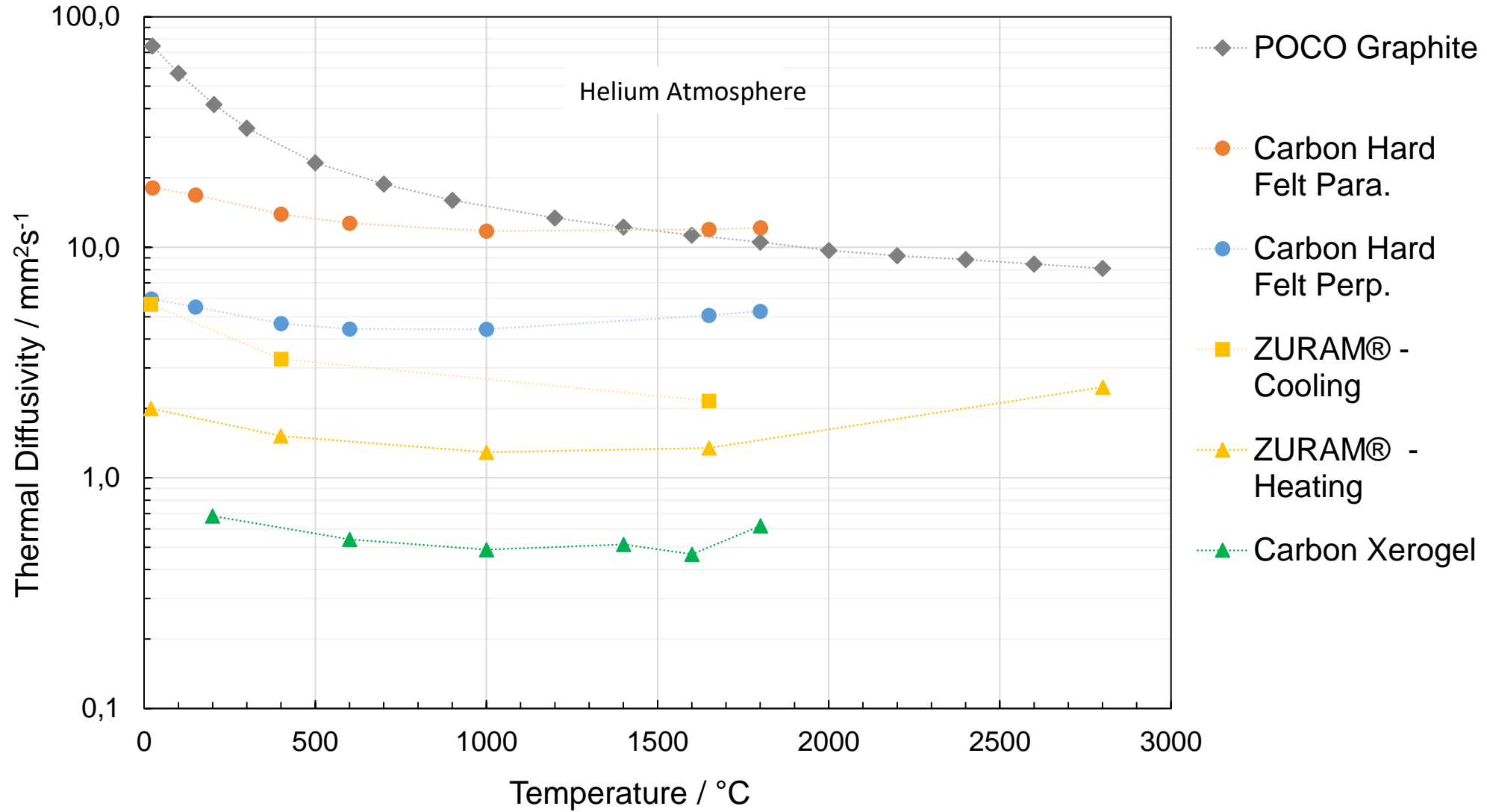
Carbon Xerogel - Morphologie



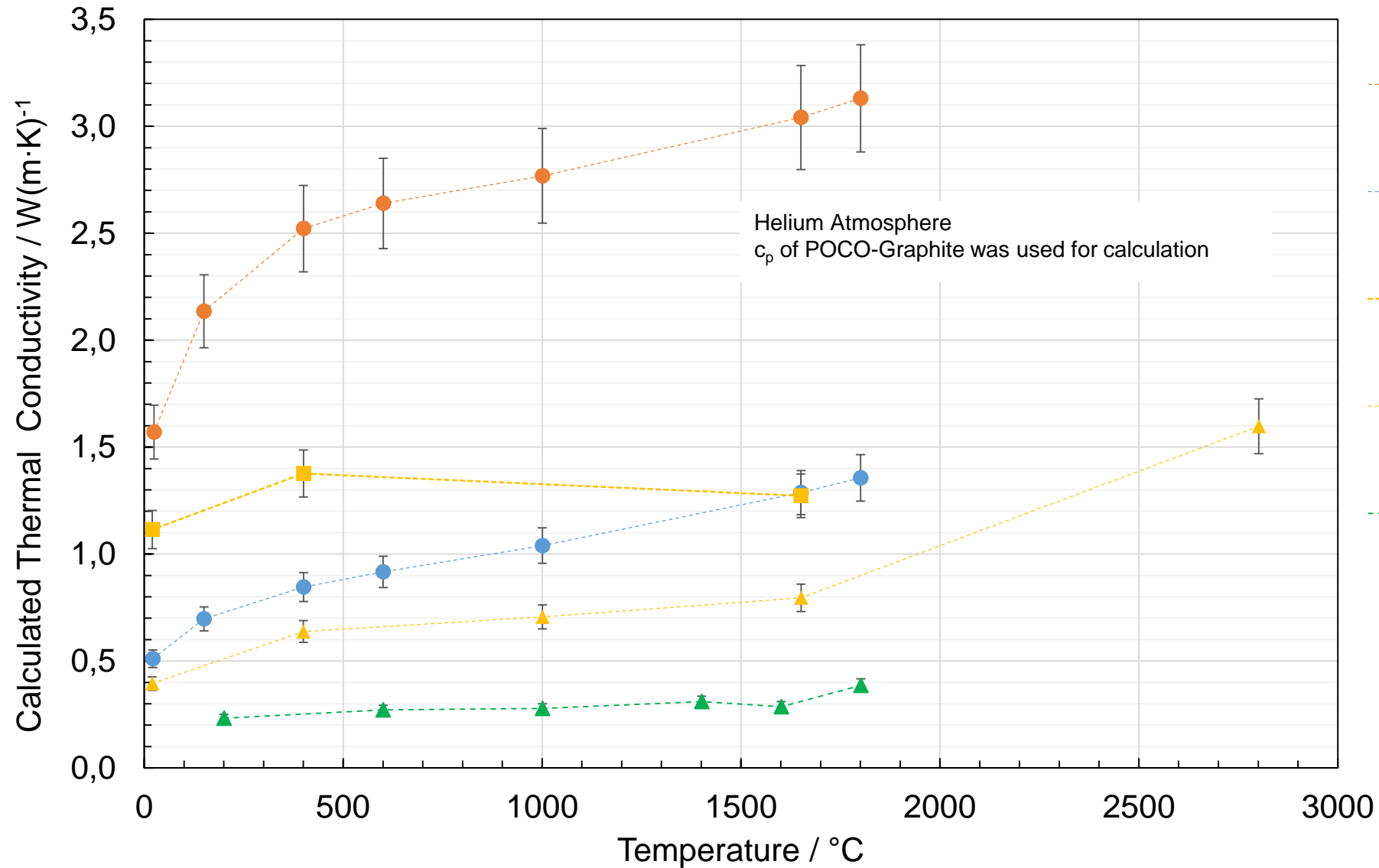
Elektronenmikroskopische Aufnahme



Temperaturleitfähigkeit – Helium Atmosphäre



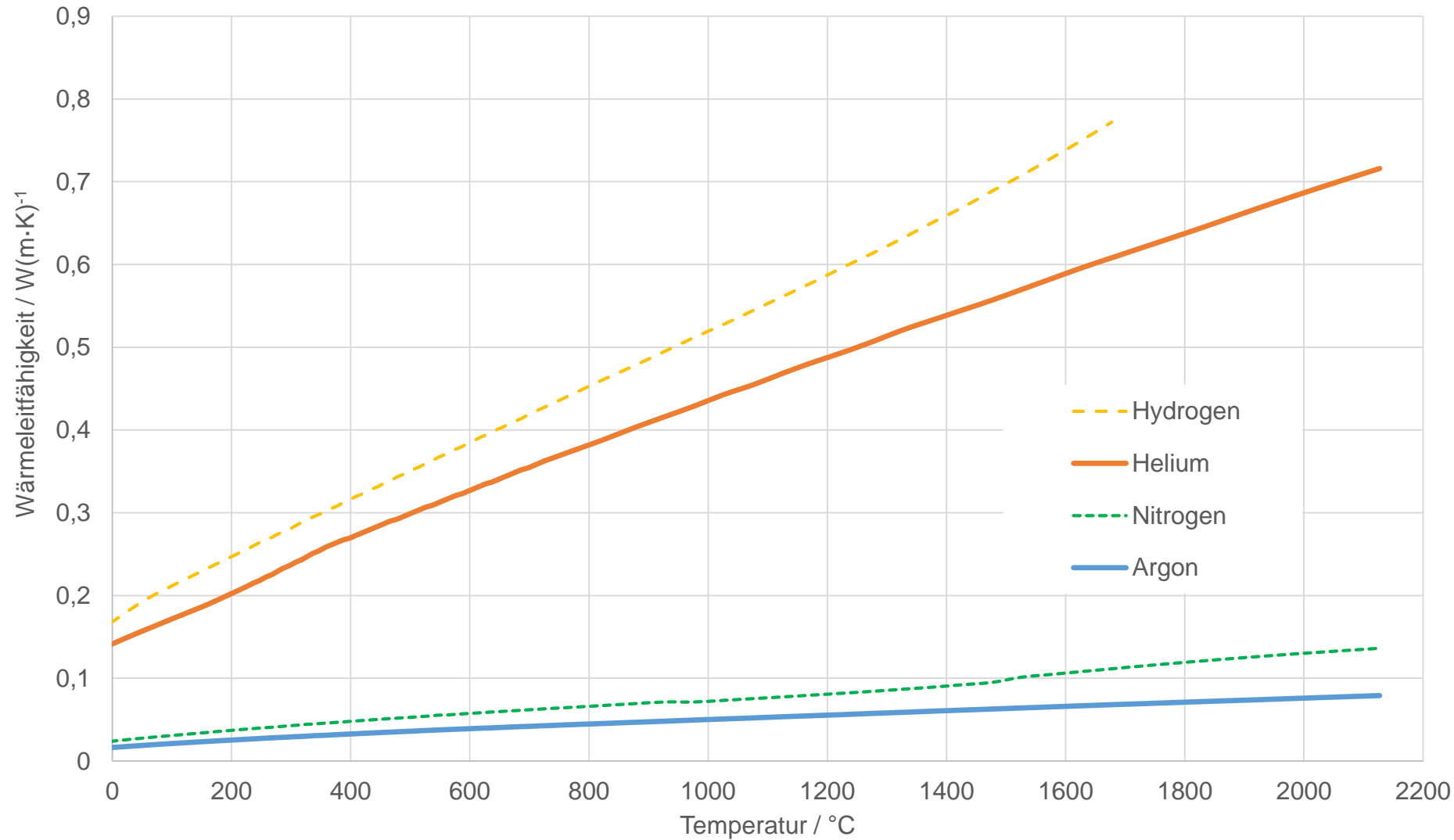
Berechnete Wärmeleitfähigkeit



- Carbon Hard Felt Para.
- Carbon Hard Felt Perp.
- ZURAM® - Cooling
- ▲ ZURAM® - Heating
- ▲ Carbon Xerogel

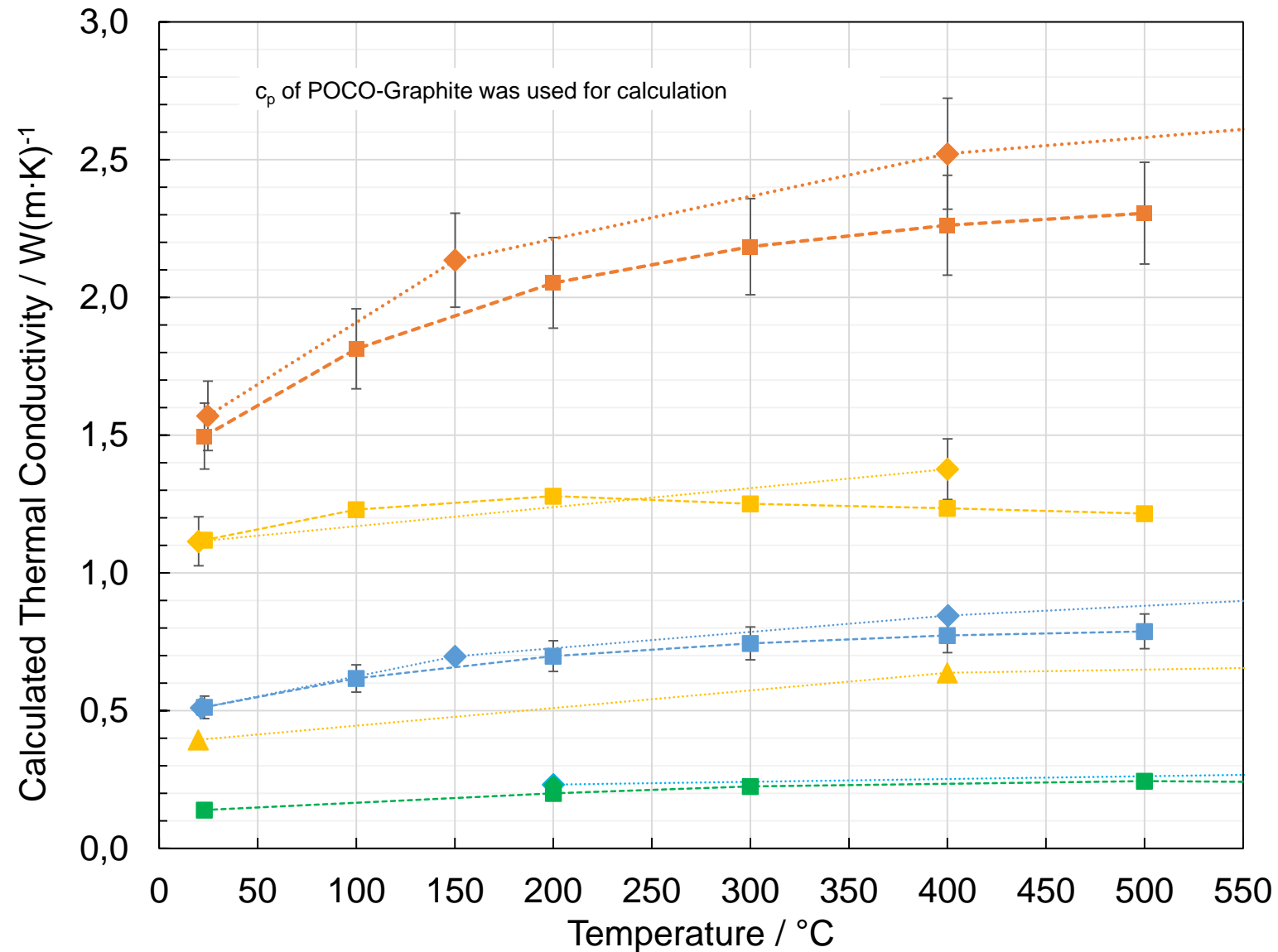
$$\lambda = a(T) \cdot c_p(T) \cdot \rho$$

Wärmeleitfähigkeit von typischen Inert-Atmosphären



Touloukian, Y. S., et al. (1970).
Thermal conductivity - Nonmetallic liquids and gases Vol. 3. New York, Plenum Publishing Co.

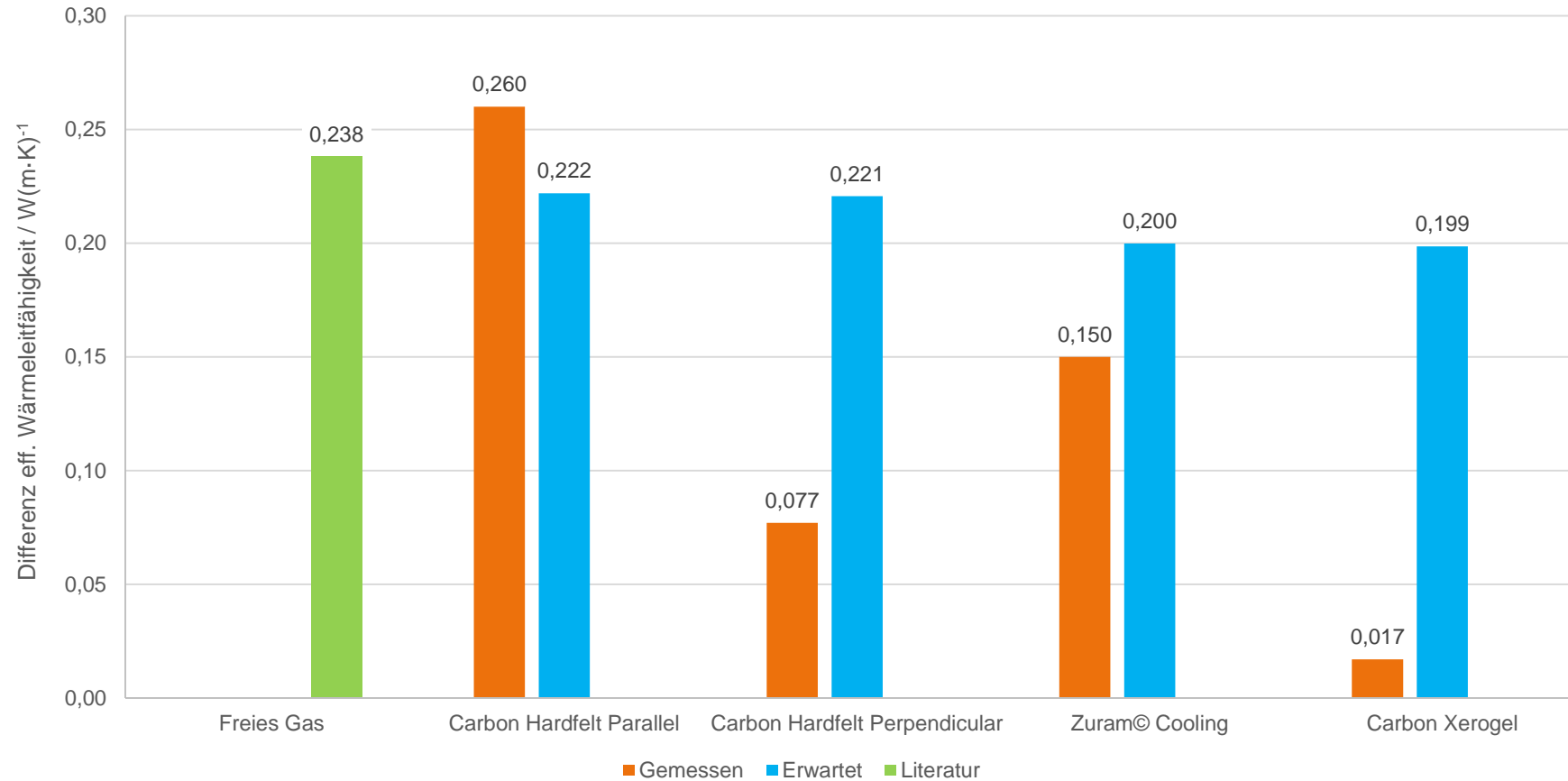
Wärmeleitfähigkeit: Einfluss des Spülgases



- ◆ He - Carbon Hard Felt Para.
- Ar - Carbon Hard Felt Para.
- ◆ He - ZURAM® -Cooling
- Ar - ZURAM® - Cooling
- ◆ He - Carbon Hard Felt Perp.
- Ar - Carbon Hard Felt Perp.
- ▲ He - ZURAM® -Heating
- ◆ He - Carbon Xerogel
- Ar - Carbon Xerogel

Wärmeleitfähigkeit: Einfluss des Spülgases bei 400 °C

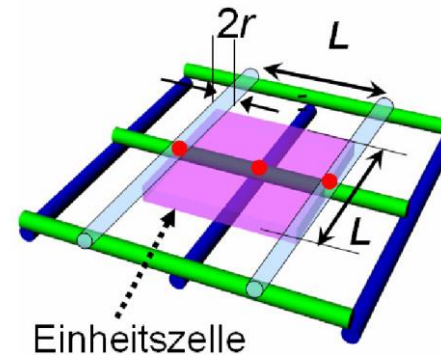
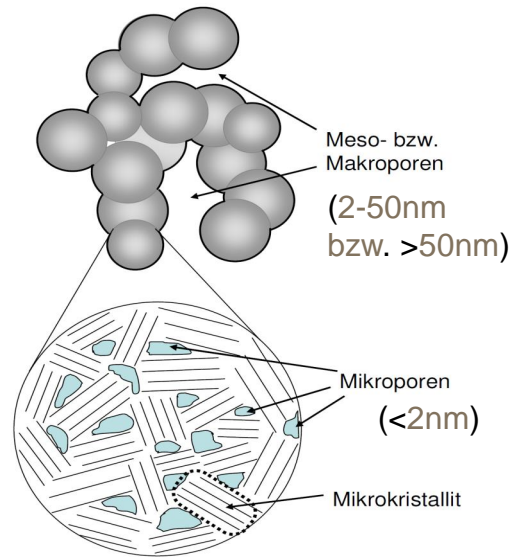
Unterschied bei 400 °C in den Ergebnissen für die Wärmeleitfähigkeit zwischen Helium und Argonatmosphäre



Erwartet = Freies Gas x Porosität der Probe

Zusammenfassung

- Flashmethode zur Bestimmung der Wärmetransporteigenschaften von porösen Kohlenstoff geeignet
- Wärmetransport abhängig von der Mikrostruktur
- Wärmetransport ist abhängig von Vorgeschichte und Atmosphäre



Quelle: Dissertation Geisler

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Dipl.-Phys. Frank Hemberger

Center for Applied Energy Research e.V.

Magdalene-Schoch-Straße 3

97074 Würzburg

T + 49 (0) 931 70564-326

F + 49 (0) 931 70564-600

frank.hemberger@cae-zeroarbon.de

www.cae-zeroarbon.de



Center for Applied Energy Research

