

Metrologische Verfahren zur Bestimmung thermophysikalischer Eigenschaften für Hochtemperaturanwendungen

J. Manara, M. Arduini, T. Stark, S. Vidi, F. Hemberger, H.-P. Ebert,
A. Shandy, M. Zipf, J. Hartmann



Industrial process optimization through improved metrological methods for the determination of thermophysical properties

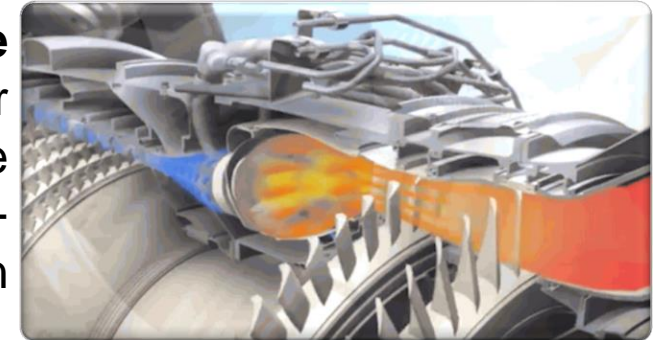


Raumfahrt

leichtere
Materialien
für Weltraum-
missionen



nachhaltigere
Materialien für
langlebigere
Turbinen-
schaufeln



robustere Materialien zur
Reduzierung von Wartungskosten



**Glas-
industrie**

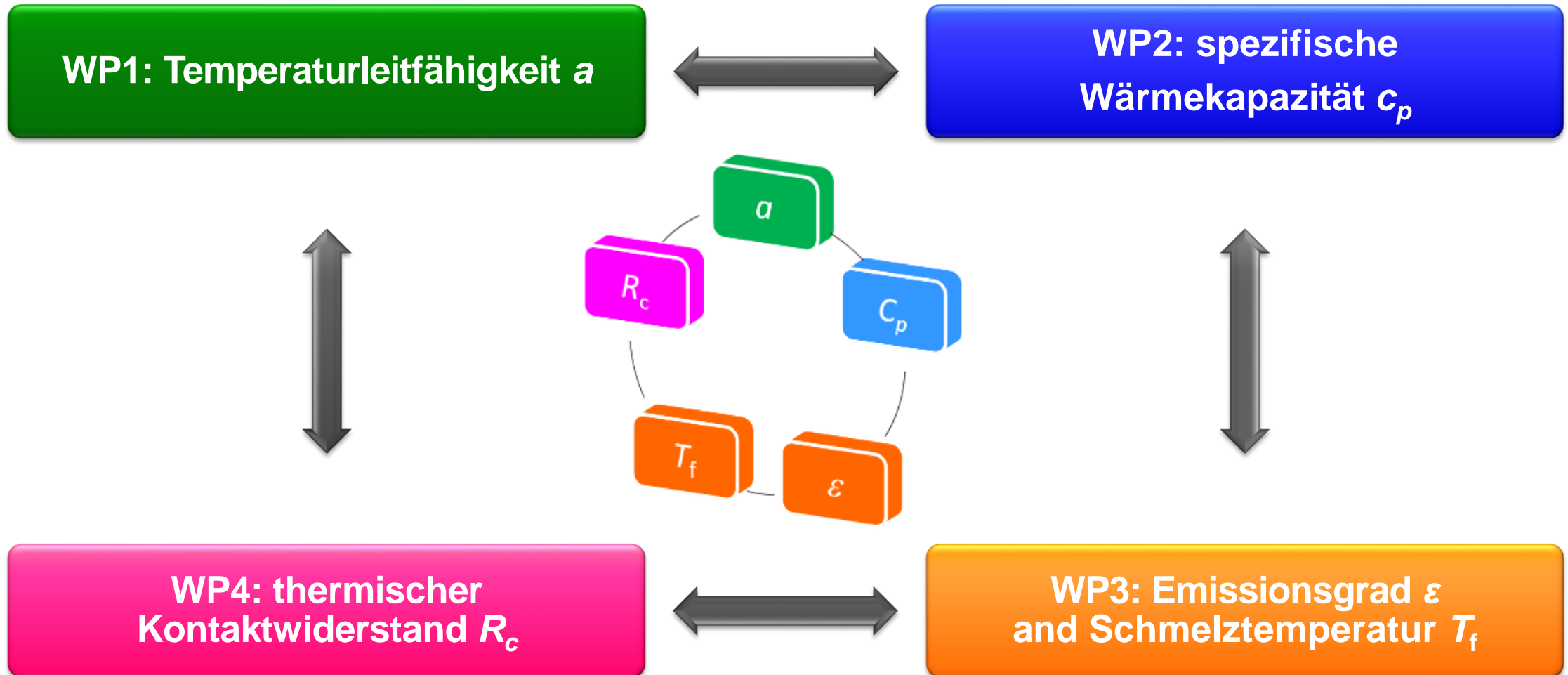


Luftfahrt

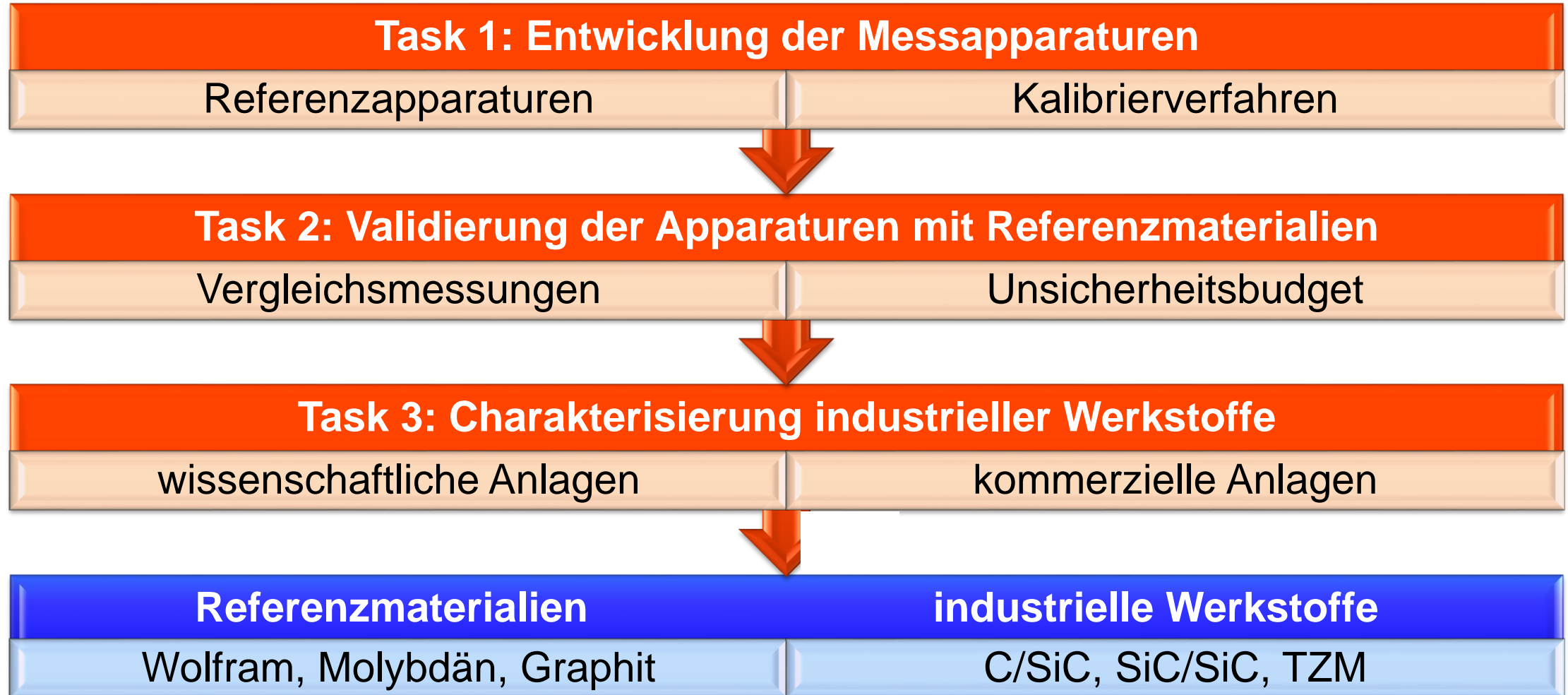


Entwicklung neuer Methoden zur Charakterisierung der thermophysikalischen Eigenschaften und Verbesserung der Rückführbarkeit bis zu 3000 °C

Arbeitspakete des Projektes Hi-TRACE



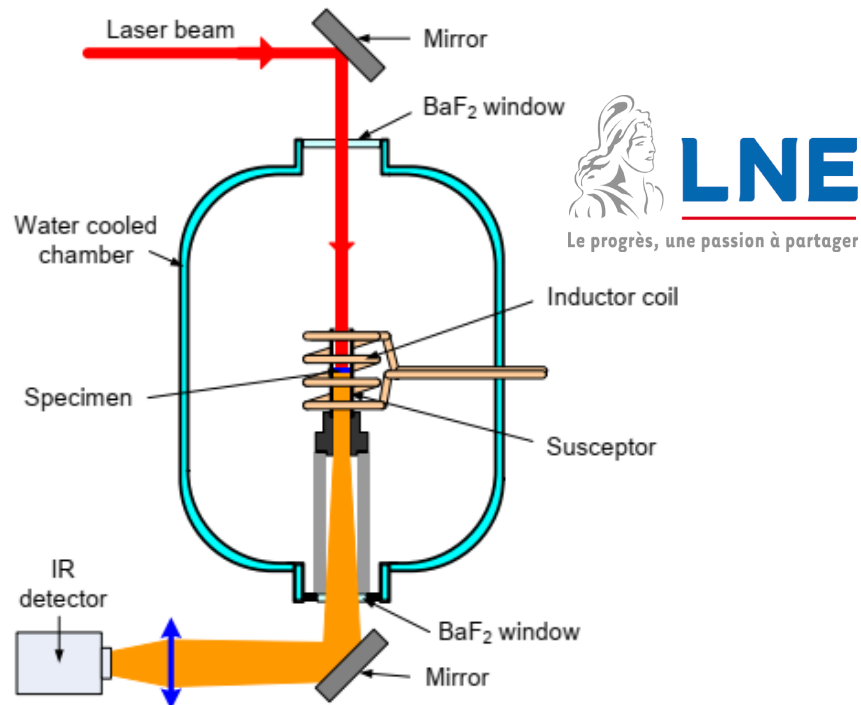
Struktur und Ziele des Projektes Hi-TRACE



Messung der Temperaturleitfähigkeit

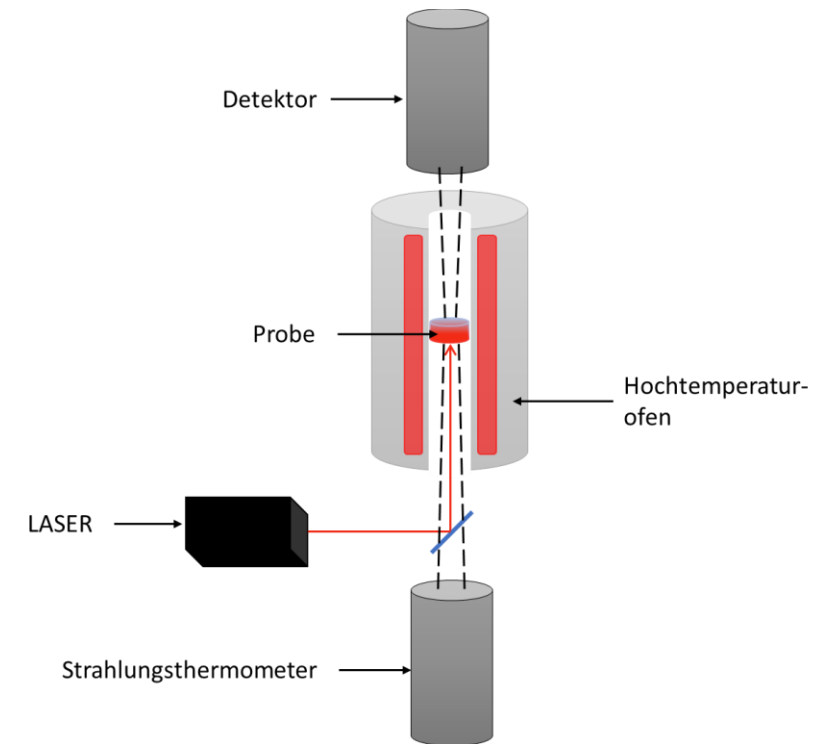
Laser Flash Anlage (LFA) am LNE:

- Modifikation des HF-Generators
- 3 Fixpunktzellen Pd-C (1492 °C), Pt-C (1738 °C) und Ir-C (2290 °C)



Laser Flash Anlage (LFA) an der THWS:

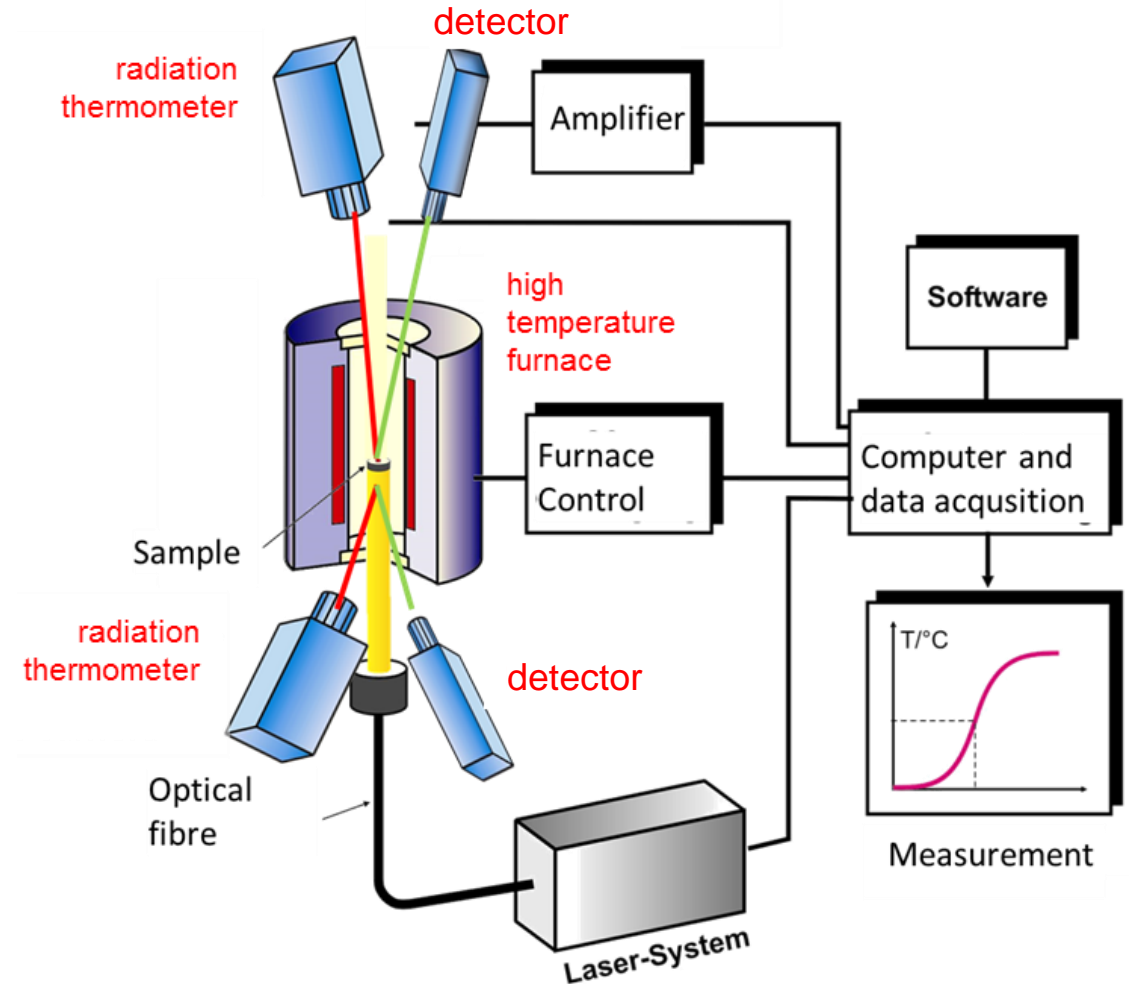
- Implementierung von Strahlungsthermometern
- Vorder- und Rückseitendetektion



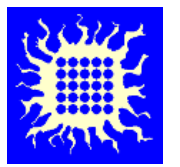
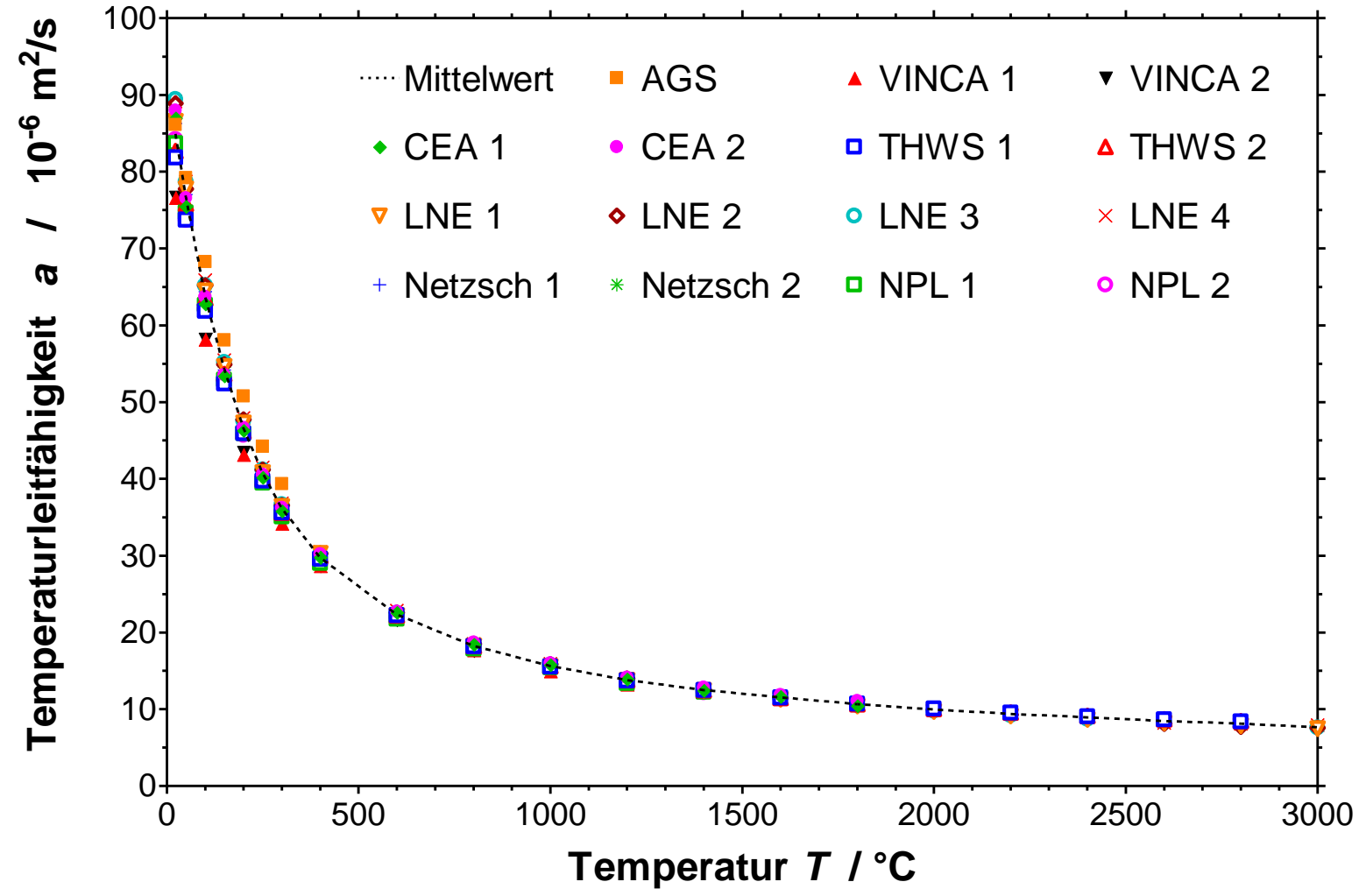
Messung der Temperaturleitfähigkeit

Messaufbau an der THWS:

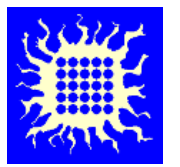
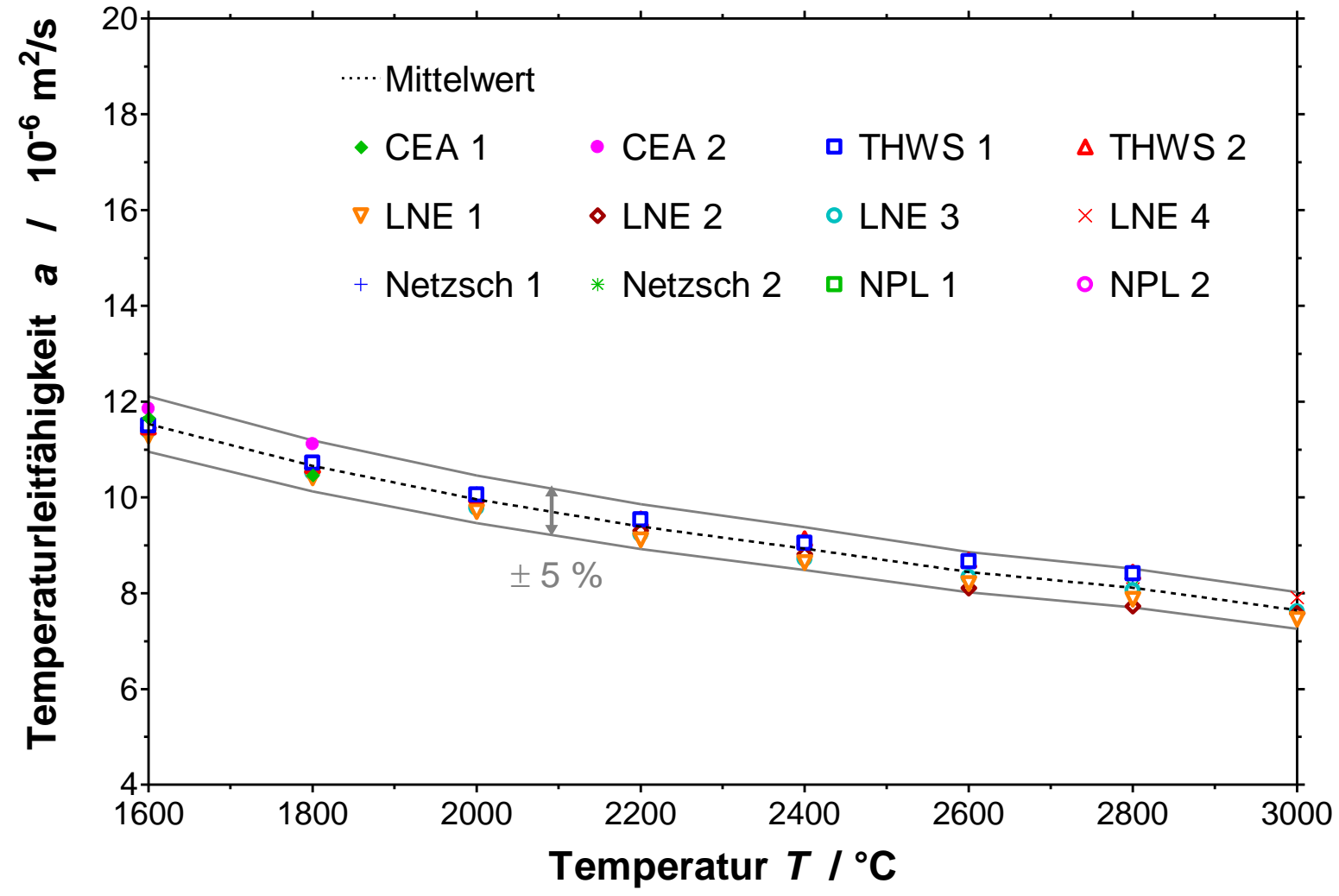
- Netzsch LFA 427 mit Strahlungsthermometer für hohe Temperaturen
- zusätzliche Strahlungsthermometer und Detektoren für Vorder- und Rückseitendetektion
- Graphitheizelemente
- Messung unter Heliumatmosphäre



Temperaturleitfähigkeit von isotropischem Graphit

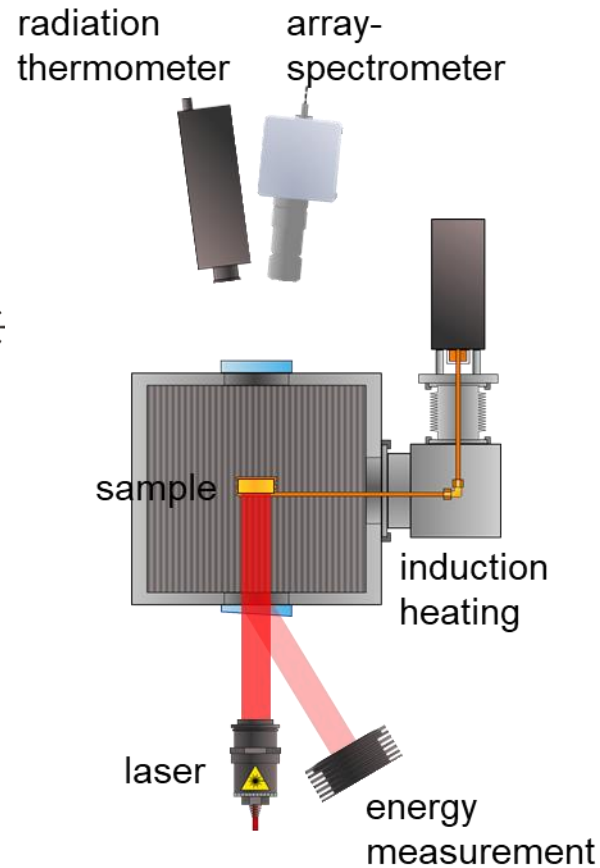


Temperaturleitfähigkeit von isotropischem Graphit

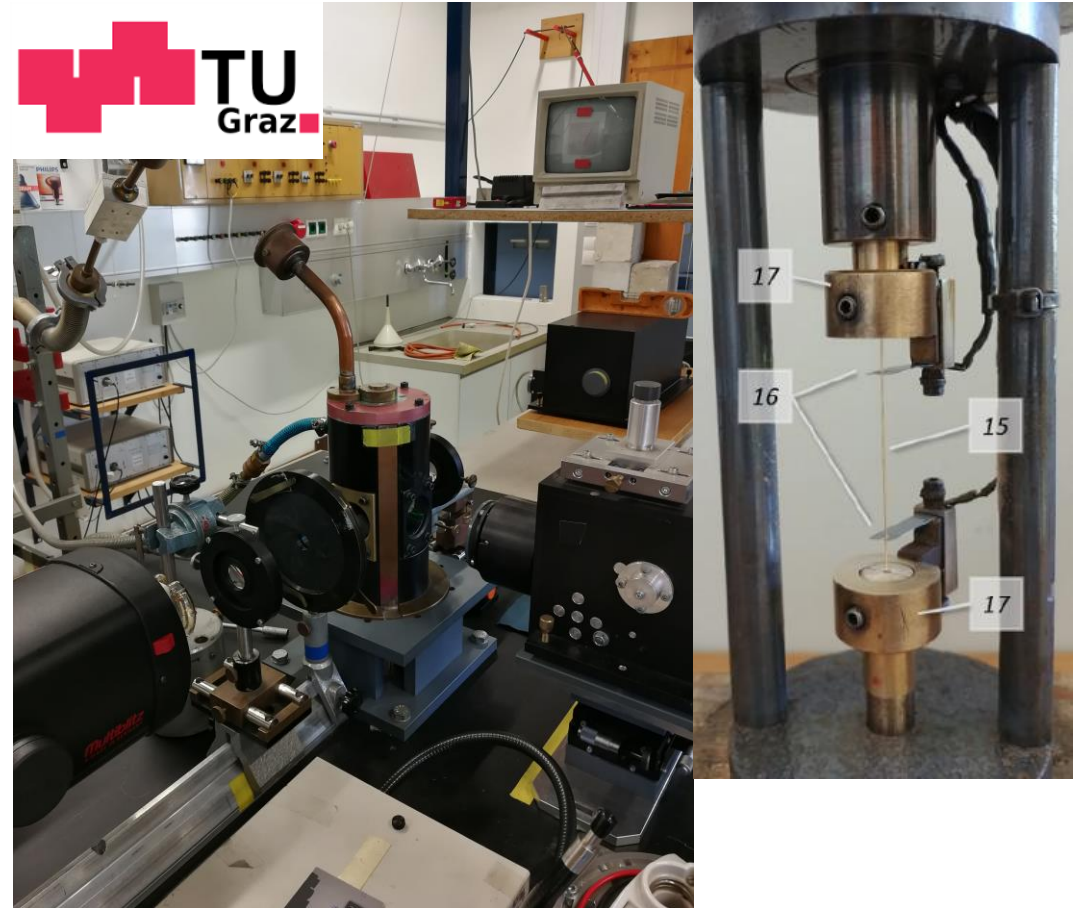


Messung des Emissionsgrades

Anlage an der PTB:

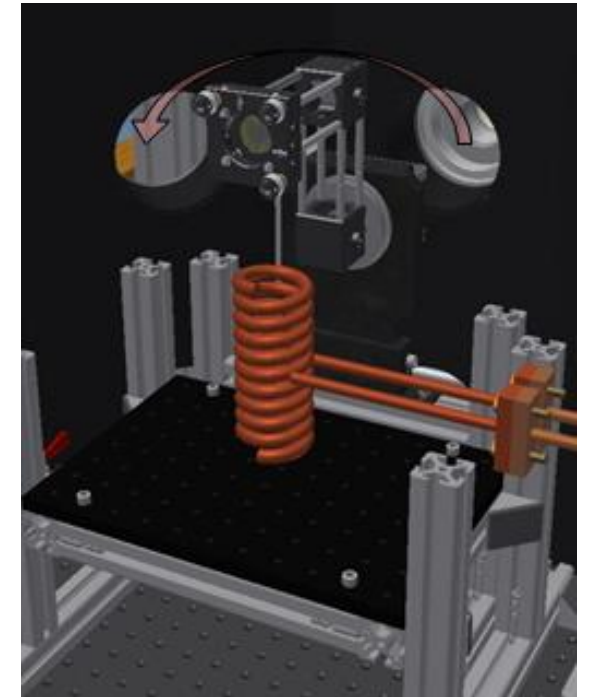
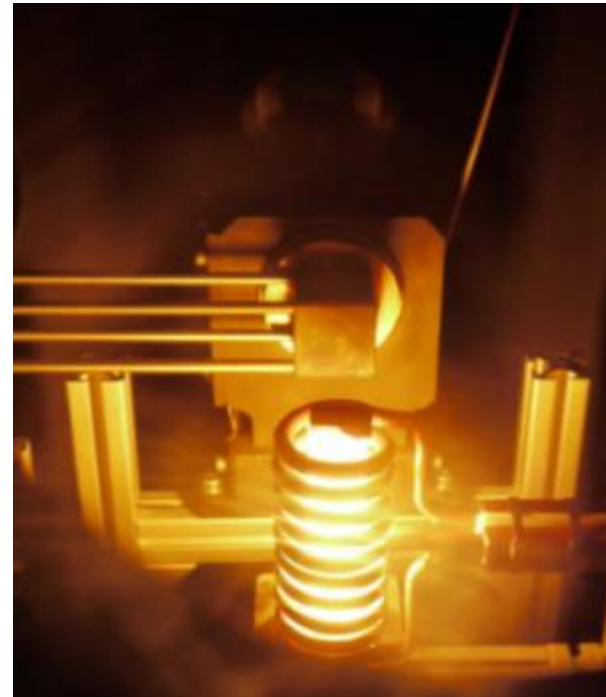
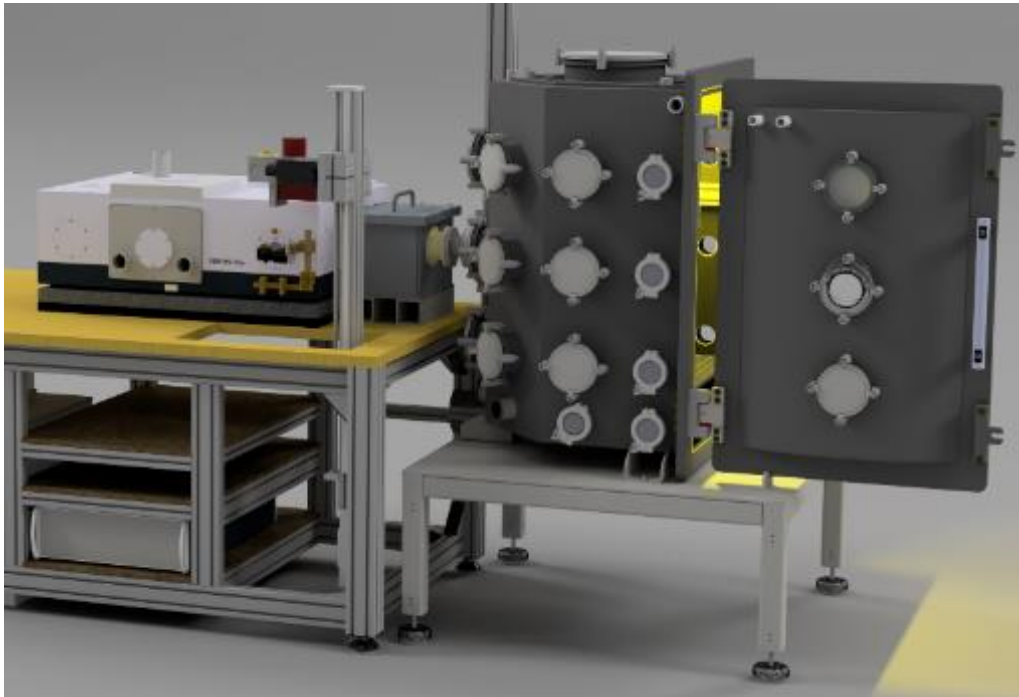


Anlage an der TU Graz



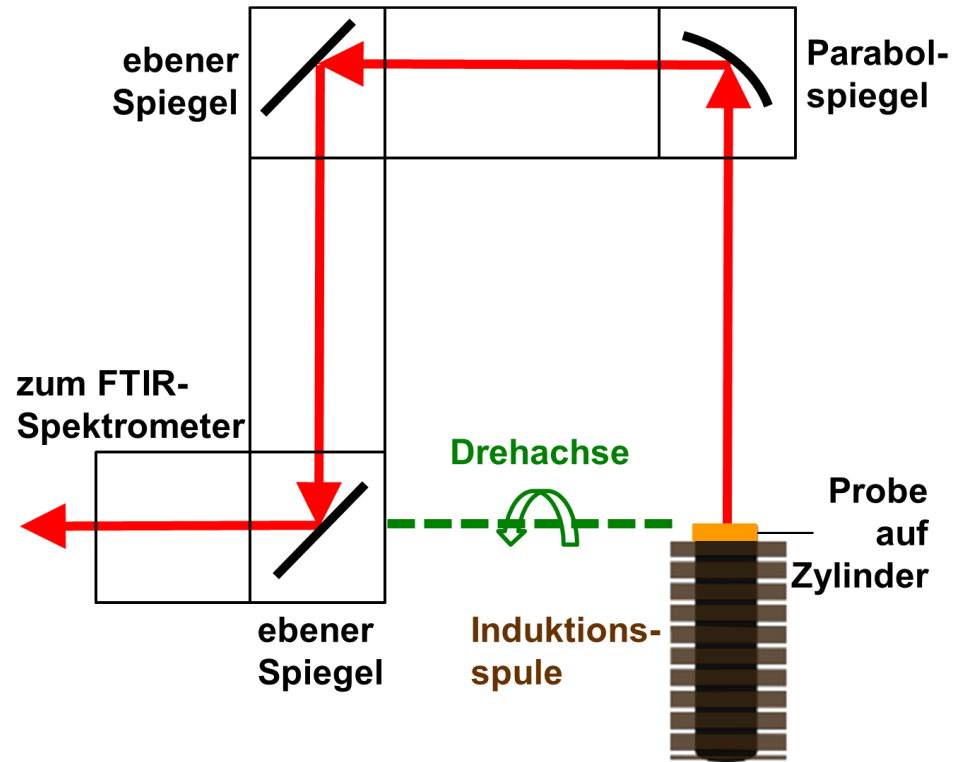
Messung des Emissionsgrades

Anlage am ZAE:
Emissionsgrad-Messanlage (EMMA)

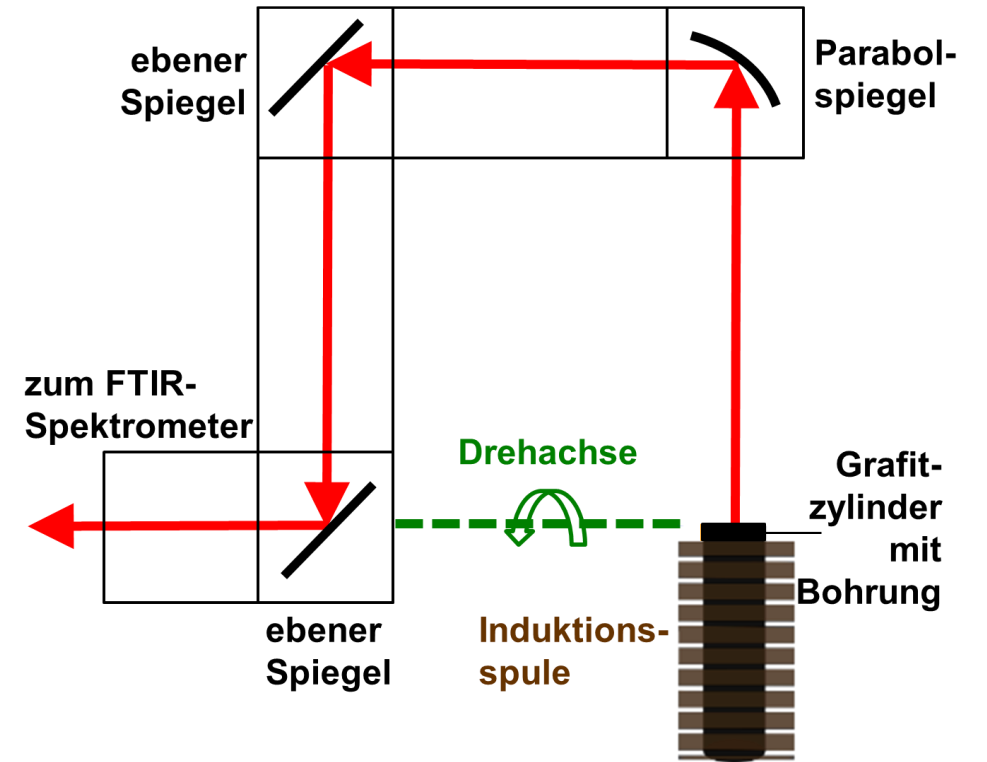


EMMA: Schematischer Aufbau

Wärmeabstrahlung einer Probe

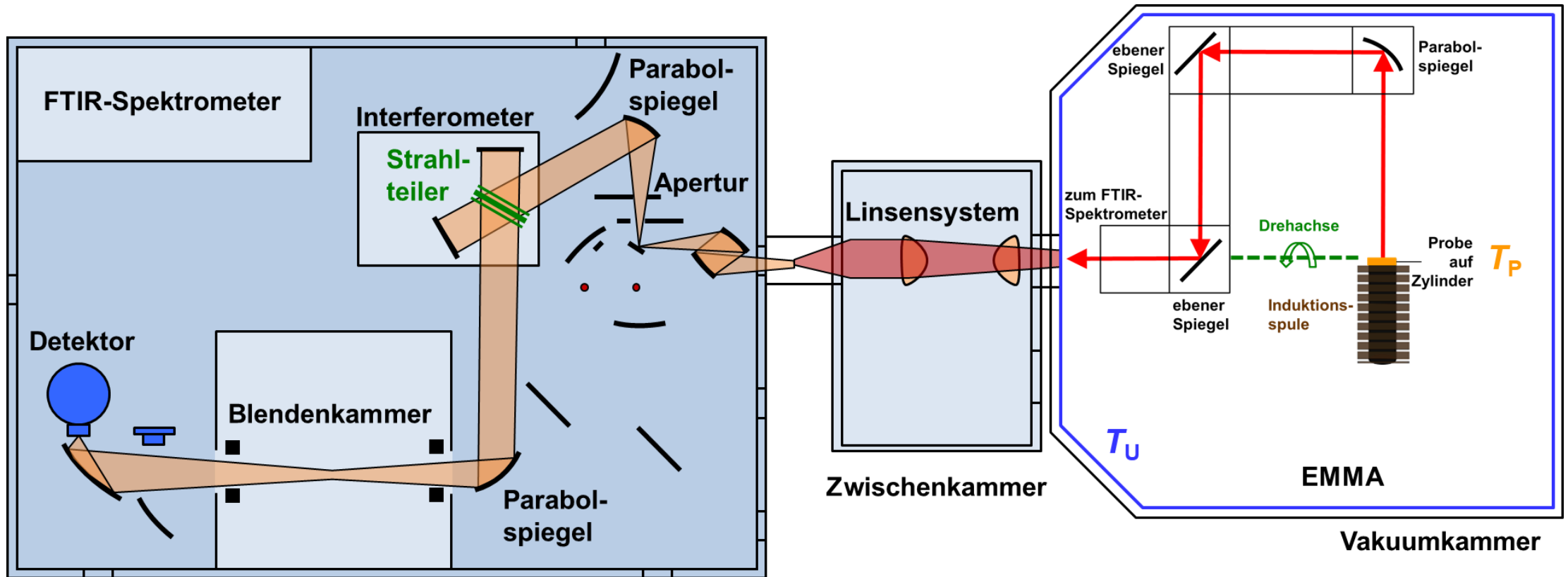


Wärmeabstrahlung eines schwarzen Strahlers



EMMA: Schematischer Aufbau

EMMA mit Zwischenkammer und FTIR-Spektrometer

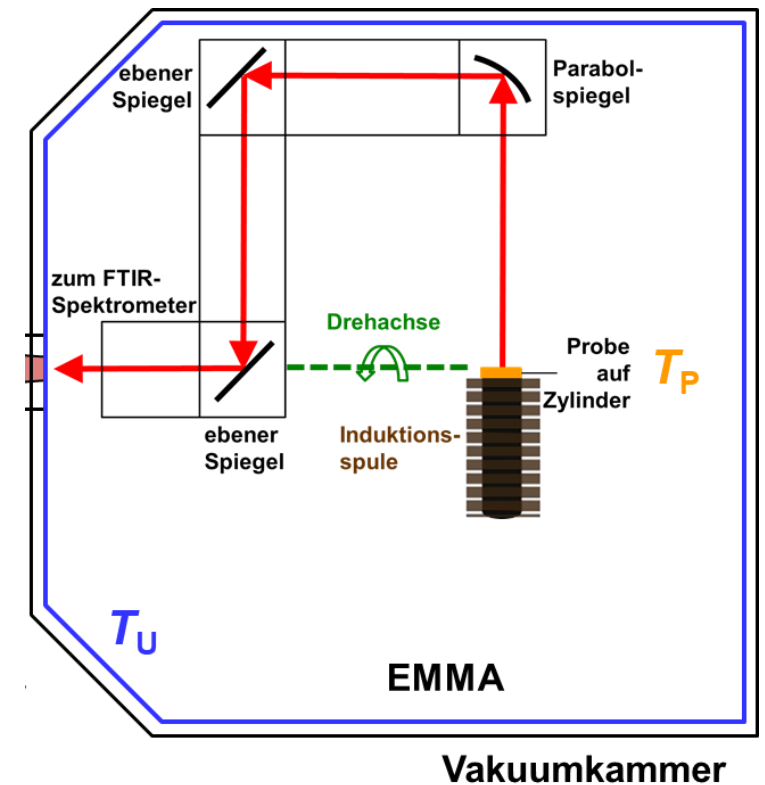


EMMA: Emissionsgradbestimmung

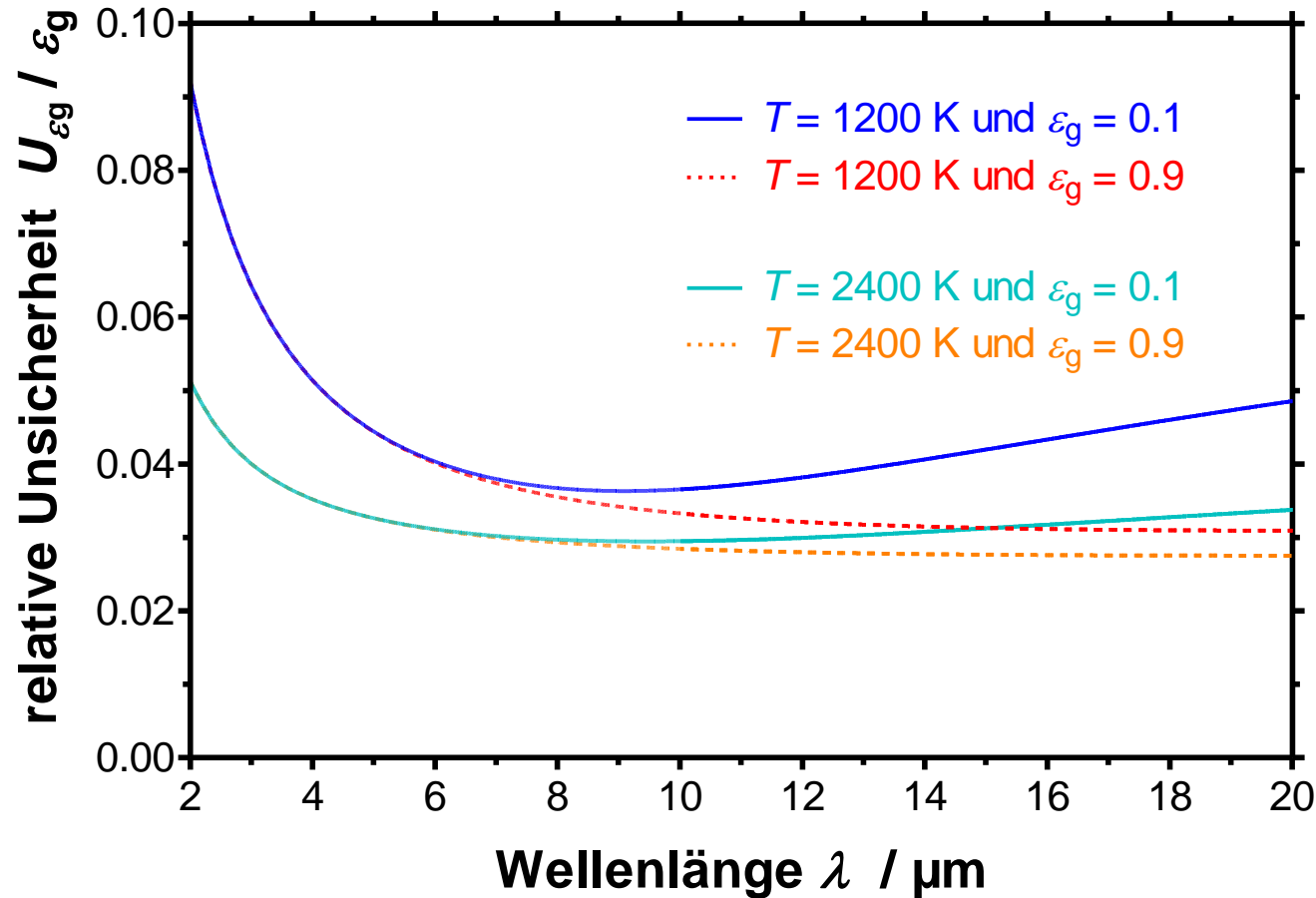
Bestimmung des Emissionsgrades aus der gemessenen Intensität

$$i_{\lambda, \text{Messung}}(\theta, T_P, T_U) = \varepsilon_{g, \lambda}(\theta, T_P) \cdot i_{\lambda, \text{bb}}(T_P) + \rho_{\text{hg}, \lambda}(\theta, T_P) \cdot i_{\lambda, \text{bb}}(T_U) = \varepsilon_{g, \lambda}(\theta, T_P) \cdot i_{\lambda, \text{bb}}(T_P) + [1 - \varepsilon_{g, \lambda}(\theta, T_P)] \cdot i_{\lambda, \text{bb}}(T_U)$$

$$\Rightarrow \varepsilon_{g, \lambda}(\theta, T_P) = \frac{i_{\lambda, \text{Messung}}(\theta, T_P, T_U) - i_{\lambda, \text{bb}}(T_U)}{i_{\lambda, \text{bb}}(T_P) - i_{\lambda, \text{bb}}(T_U)}$$



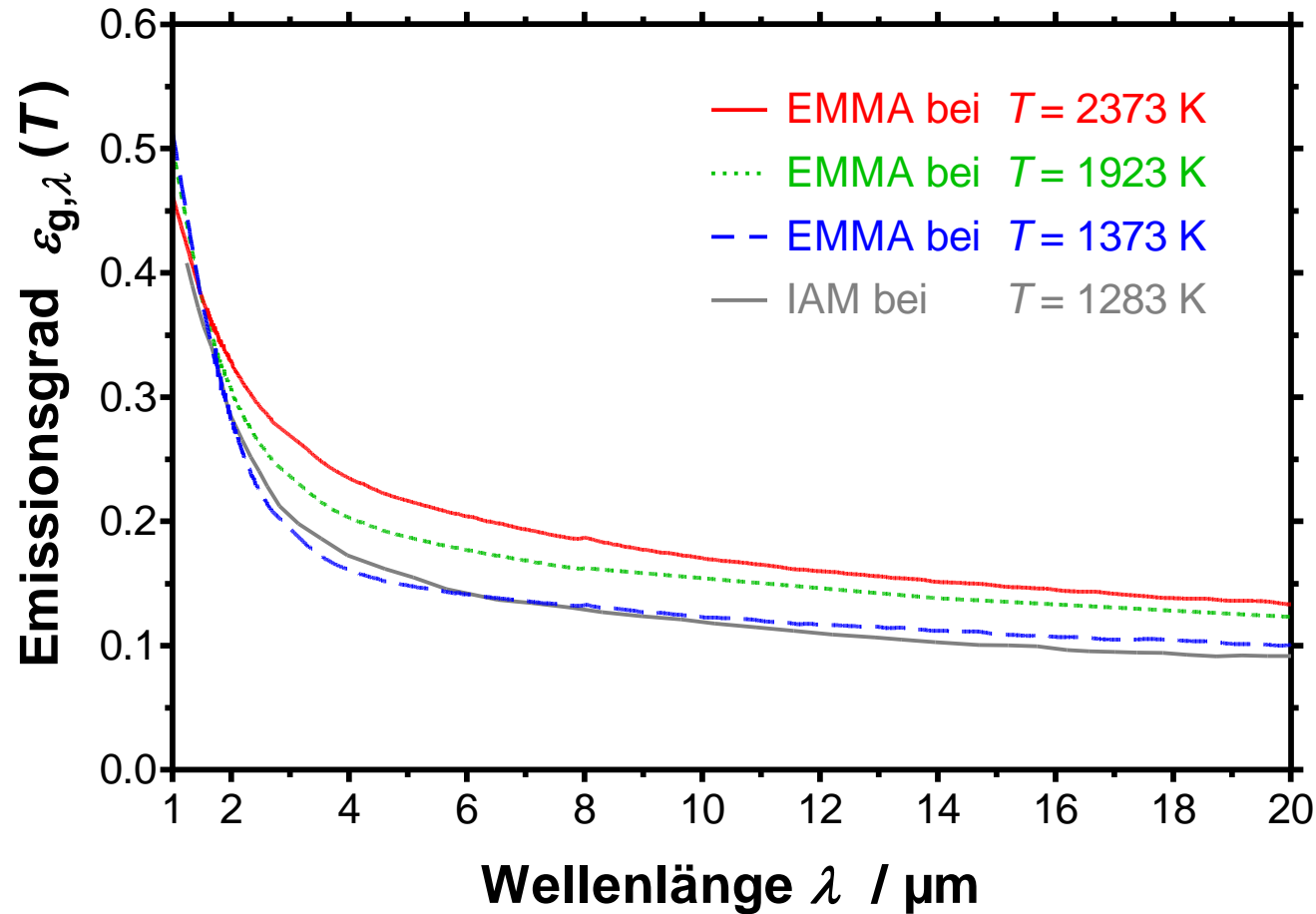
EMMA: Erweiterte ($k = 2$) relative Messunsicherheit



Messunsicherheit des Emissionsgrades hängt ab von den Unsicherheiten folgender Größen

- gemessene Intensität $i_{\lambda, \text{Messung}}$
- Proben temperatur T_P
- Umgebungstemperatur T_U

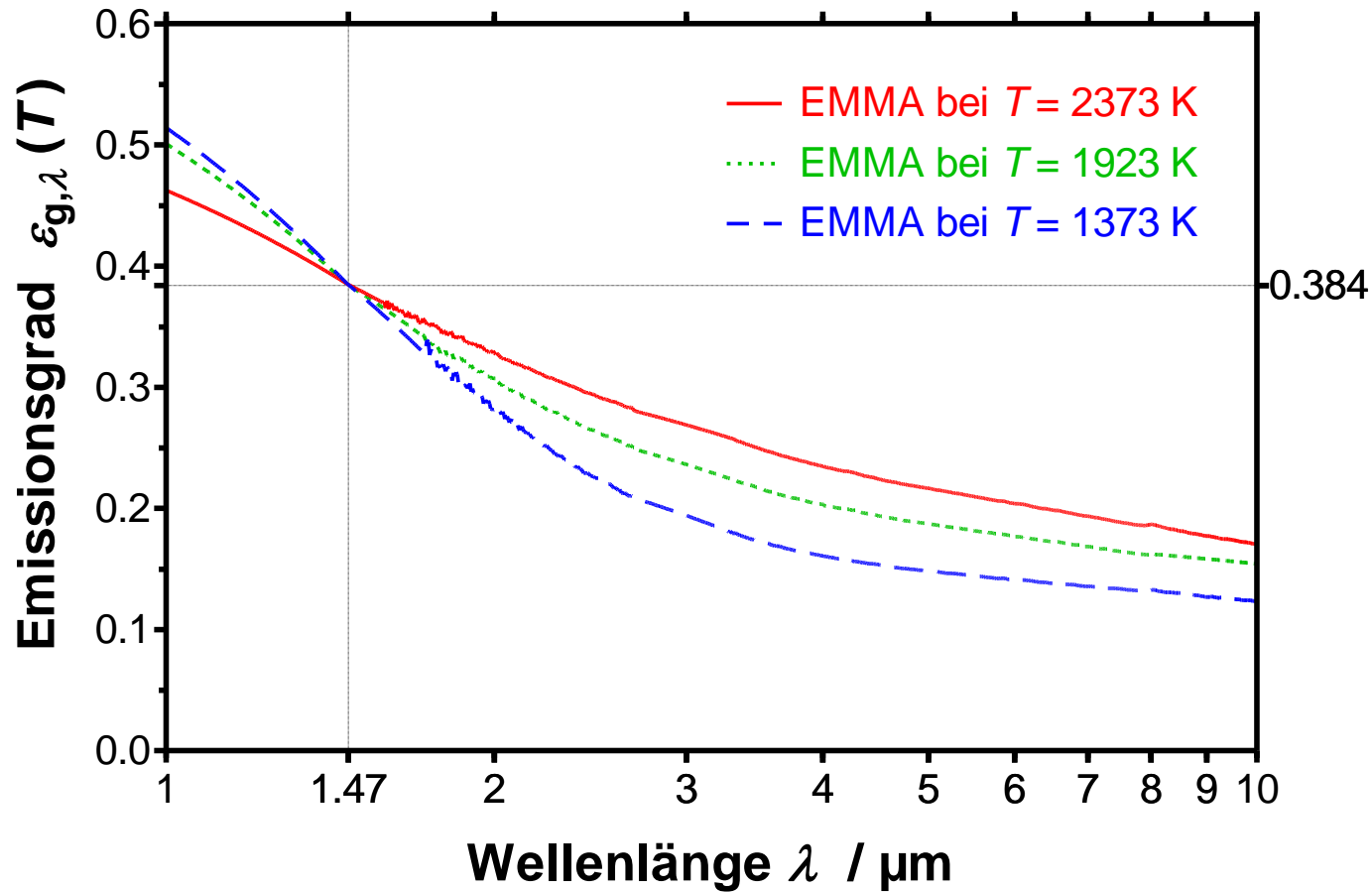
Emissionsgrad von Wolfram (sandgestrahlt)



IAM: Institut für Angewandte Materialtechnik (IAM) an der Universität Duisburg-Essen

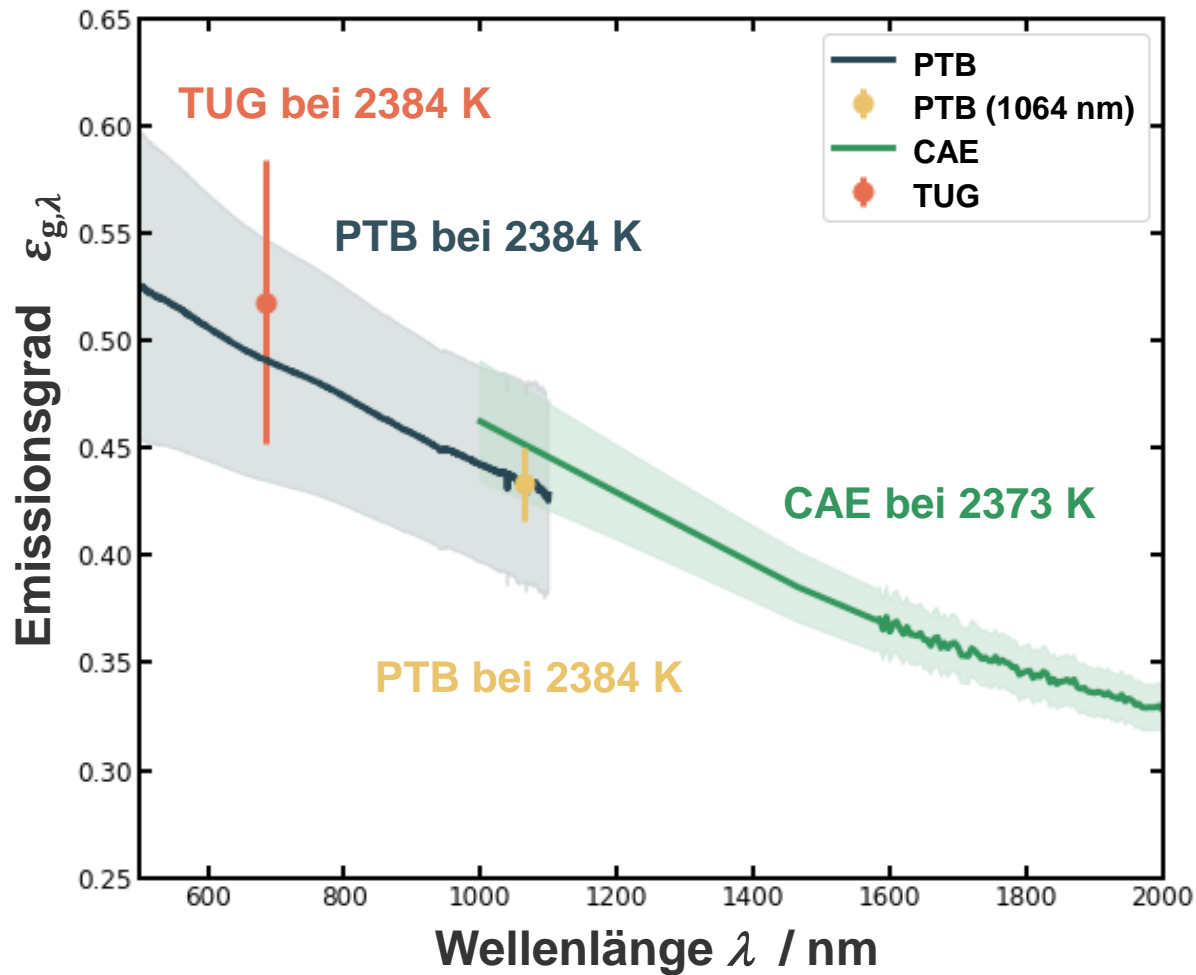
[C .Cagran, G. Pottlacher, M. Rink, W. Bauer, Spectral Emissivities and Emissivity X-Points of Pure Molybdenum and Tungsten, Int J Thermophys 2005, 26, 1001-1015]

Emissionsgrad von Wolfram (sandgestrahlt)

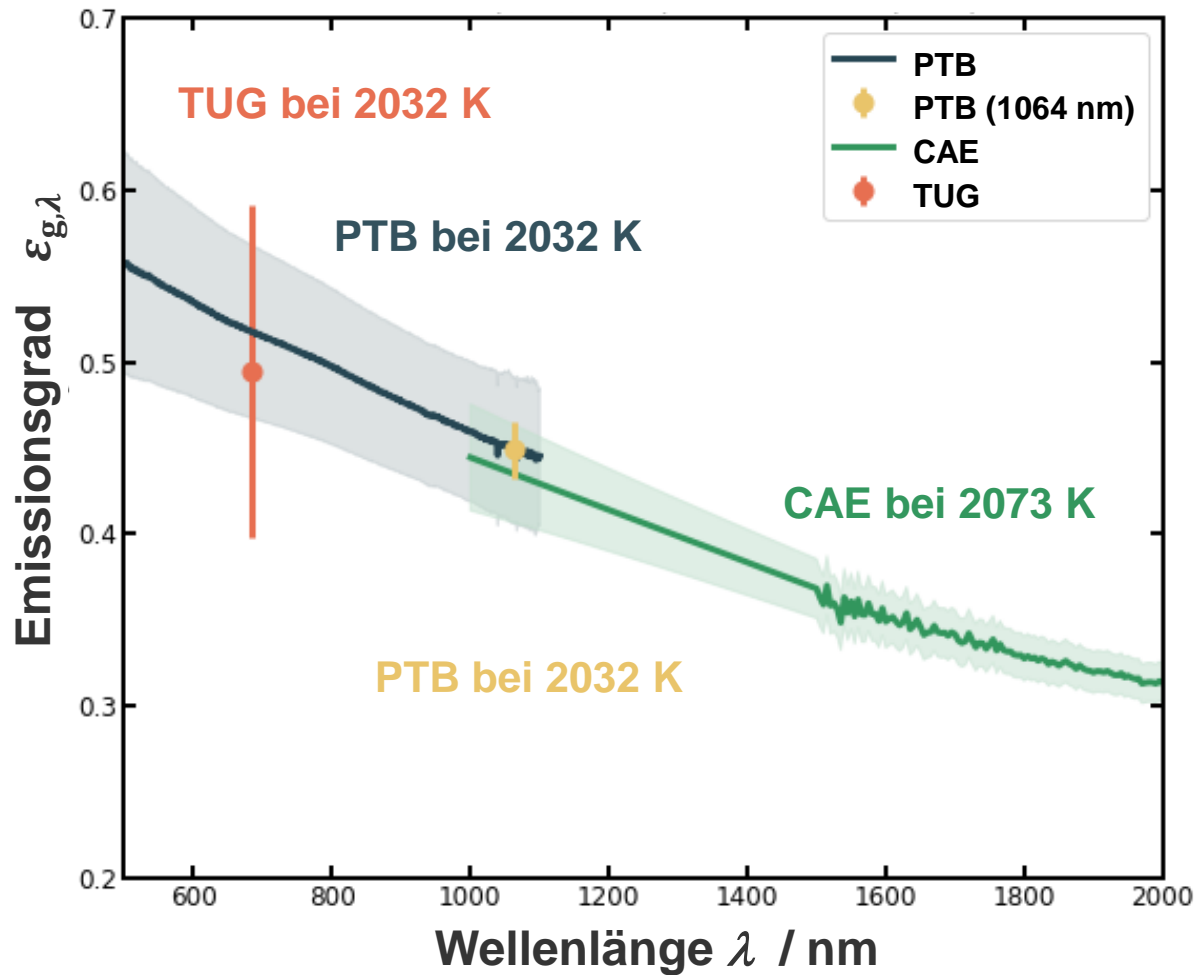


- Lage des Kreuzungspunktes bzw. X-Punktes:
 $\lambda_x = 1.47 \mu\text{m}$
- Emissionsgrad am X-Punkt:
 $\varepsilon_{g,\lambda_x} = 0.384$
- Literaturwerte:
- $\lambda_x = 1.27 \mu\text{m} \dots 1.65 \mu\text{m}$
[C. Ronchi et al Metrologia 1992, 29, 261-271]

Emissionsgrad von Wolfram (sandgestrahlt)



Emissionsgrad von Molybdän (sandgestrahlt)



Zusammenfassung und Ausblick

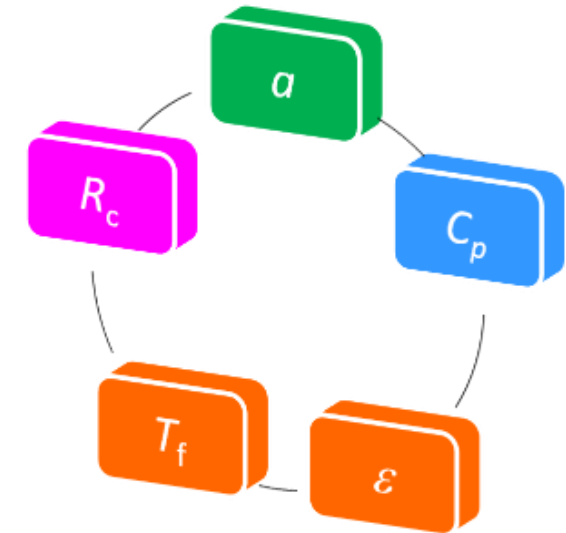
Messtechnische Validierung der entwickelten Messmethoden

- Vergleichsmessungen der Partner
- Aufstellung von Unsicherheitsbudgets

Anwendung der Methoden auf industrielle Werkstoffe

- Erstellung eines Praxisleitfadens
- Beitrag zu relevanten Normen und Richtlinien

Zukünftige Beiträge zur Verbesserung von Hochtemperaturwerkstoffen für industrielle Anwendungen.



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Dr. Jochen Manara

Center for Applied Energy Research e.V.
Magdalene-Schoch-Straße 3
97074 Würzburg

T + 49 (0) 931 70564-346
F + 49 (0) 931 70564-600

jochen.manara@cae-zeroarbon.de
www.cae-zeroarbon.de

