



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



technische
THERMO
DYNAMIK

Grundlagen

Definition α

Messmethode

Versuchsanlage
aktuell

Kalibrierung

Platin-Helium
Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammen-
fassung &
Ausblick

Kalibrierung einer Versuchsanlage zur Bestimmung des thermischen Akkommodationskoeffizienten α an keramischen Oberflächen

Doreen Bayer-Buhr, Rhena Wulf, Tobias Fieback, Ulrich Groß

Arbeitskreis Thermophysik

Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum

23./24.4.2018

Thematische Einordnung

Grundlagen

Definition α
Messmethode
Versuchsanlage
aktuell

Kalibrierung

Platin-Helium
Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammen-
fassung &
Ausblick

$$\lambda_{eff} = f(\lambda_{fest}, \lambda_{Strahlung}, \lambda_{Gas}, \dots)$$

$$\rightarrow \lambda_{Gas} = f(p, T, Porengrösse, Adsorption, \alpha \dots)$$

\rightarrow z.B. Litovsky 1996, Modell λ_{eff} für hochporöse
Wärmedämmstoffe: Berücksichtigung von α , jedoch meist
 $\alpha = 1$

Thematische Einordnung

Grundlagen

Definition α
Messmethode
Versuchsanlage
aktuell

Kalibrierung

Platin-Helium
Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammen-
fassung &
Ausblick

$$\lambda_{eff} = f(\lambda_{fest}, \lambda_{Strahlung}, \lambda_{Gas}, \dots)$$

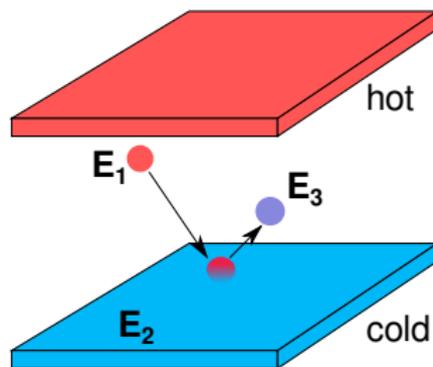
$$\rightarrow \lambda_{Gas} = f(p, T, Porengrösse, Adsorption, \alpha \dots)$$

\rightarrow z.B. Litovsky 1996, Modell λ_{eff} für hochporöse
Wärmedämmstoffe: Berücksichtigung von α , jedoch meist
 $\alpha = 1$

Wie groß ist α in einem porösen Material? Einfluss?

- In verdünnten Gasen bzw. (Makro-, Meso-, Mikro-) Poren Anzahl Teilchen-Wand-Kollisionen groß

$$\alpha = \frac{E_3 - E_1}{E_2 - E_1}$$



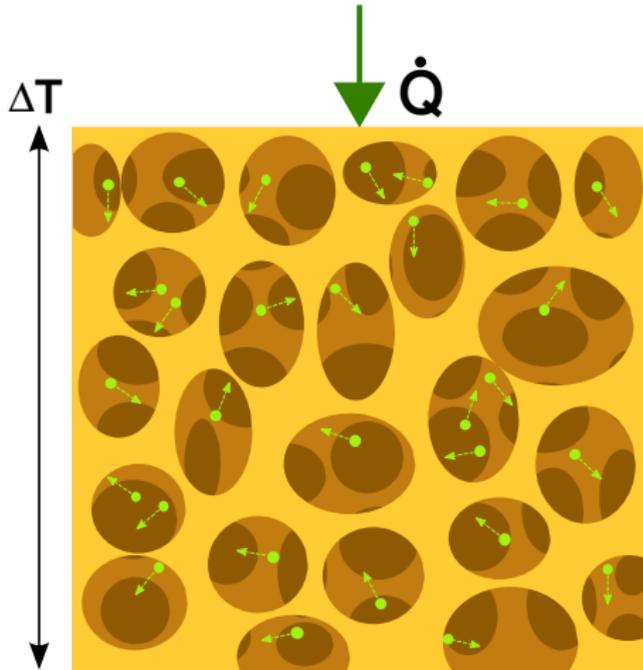
- α = Güte der Wärmeübertragung zwischen Wand und Teilchen
- Einflußfaktoren: $\alpha = f(T, R_z, \text{Gasart, Wandmaterial, Kontamination})$

Nach Sichtung der Literatur:

Für Keramiken keine Ergebnisse von α verfügbar

Messmethode - Idee

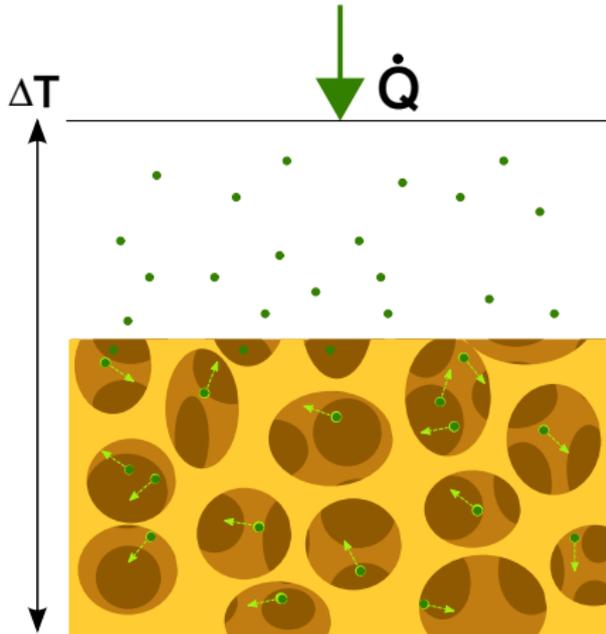
Ansatz: Parallelplattenmethode



Ausgangssituation:
poröses Material $\rightarrow \alpha$
nicht direkt
bestimmbar

Messmethode - Idee

Ansatz: Parallelplattenmethode



Lösungsansatz:
Poren freilegen und an
Oberfläche messen \rightarrow
Annahme, dass
 $\alpha_{\text{Oberfläche}} = \alpha_{\text{Pore}}$

- Grundlagen
 - Definition α
 - Messmethode**
 - Versuchsanlage aktuell
- Kalibrierung
 - Platin-Helium
 - Wolfram-Helium
- Keramik
- Probleme
- Zusammenfassung & Ausblick

Messmethode

Grundlagen

Definition α

Messmethode

Versuchsanlage
aktuell

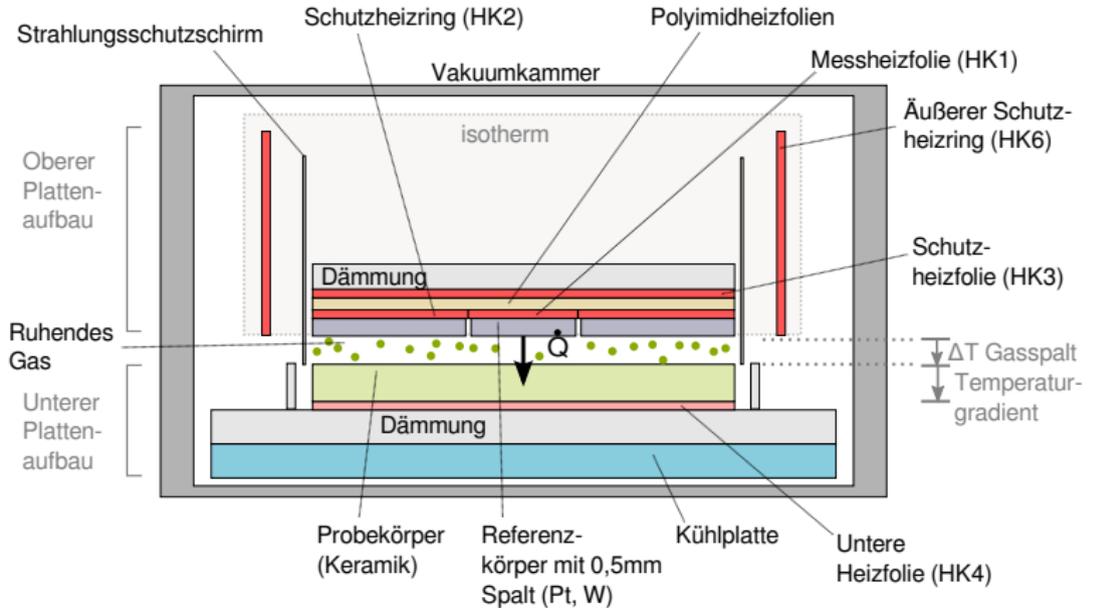
Kalibrierung

Platin-Helium
Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammenfassung &
Ausblick



Grundlagen

Definition α

Messmethode

Versuchsanlage
aktuell

Kalibrierung

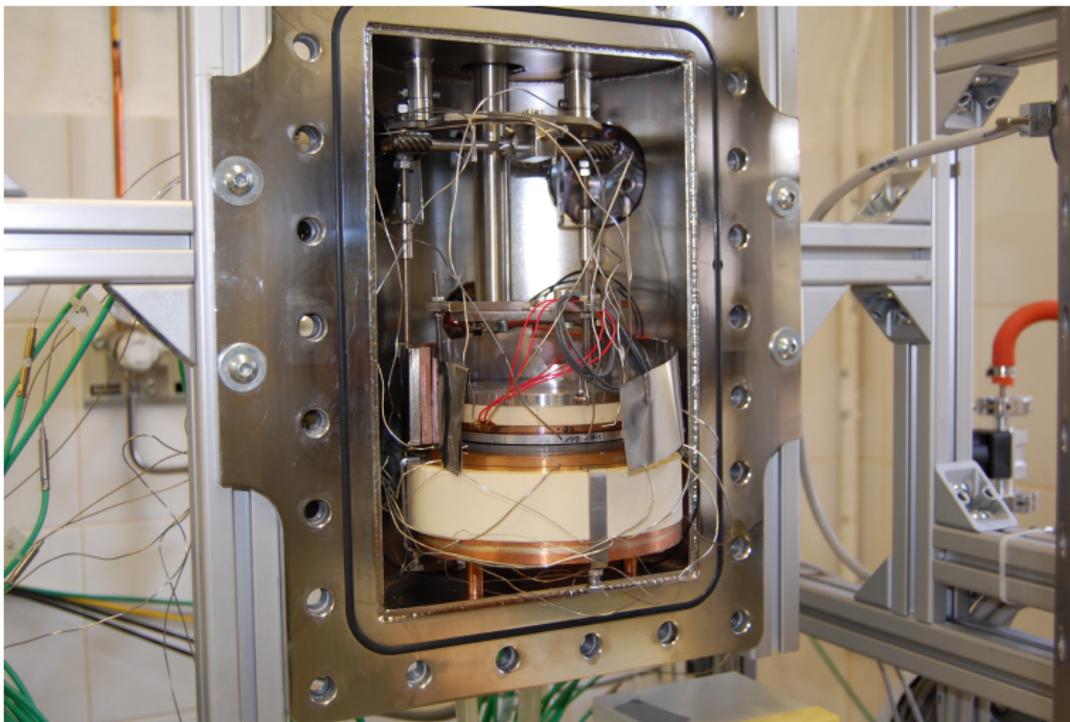
Platin-Helium

Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammen-
fassung &
Ausblick



Grundlagen

Definition α

Messmethode

Versuchsanlage
aktuell

Kalibrierung

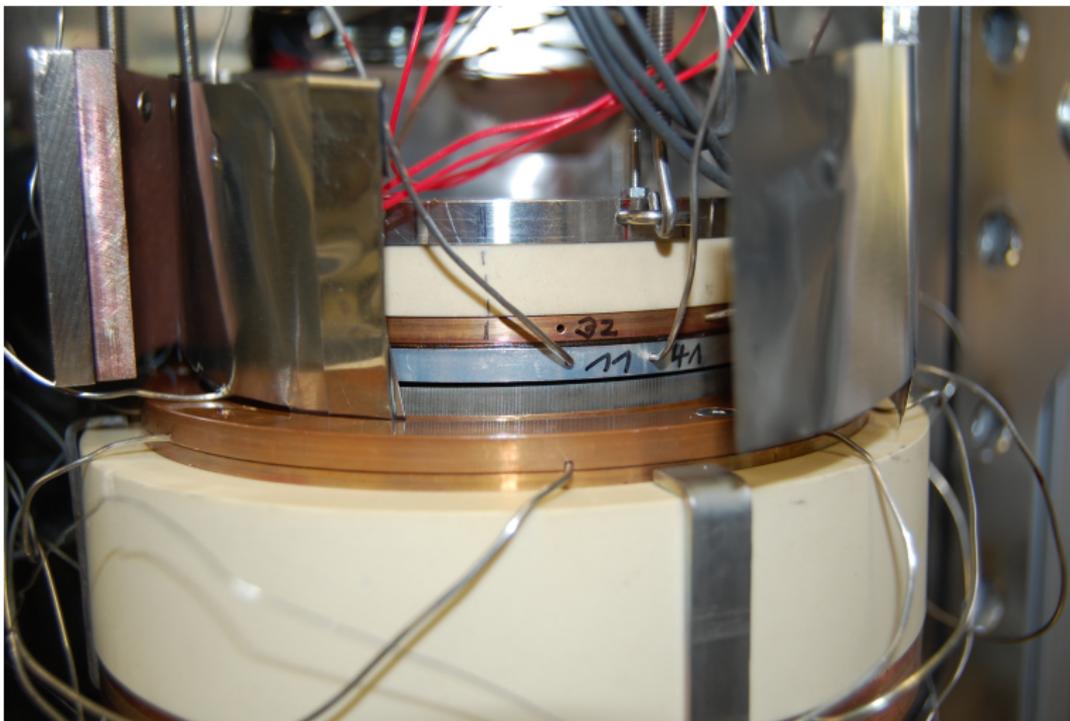
Platin-Helium

Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammenfassung &
Ausblick



Berechnung $\alpha_{Referenz}$

Springer (1971):

$$\frac{\dot{q}_{TR}}{\dot{q}_{Con}} = \left[1 + \frac{15}{4} Kn^2 \frac{2 - \alpha_R}{\alpha_R} \right]^{-1} \quad (1)$$

Nach α_R umgestellt:

$$\alpha_R = \frac{2}{1 + \left(\frac{\dot{q}_{Con}}{\dot{q}_{TR}} - 1 \right) * \frac{4}{15Kn}} \quad (2)$$

\dot{q}_{Con} ... Wärmestrom bei 1bar, Con... Kontinuum

\dot{q}_{TR} ... Wärmestrom bei 500mbar, TR ... Transition/Übergangsbereich

Knudsenzahl = mittlere freie Weglänge des Gasteilchens/charakteristische Abmessung

Grundlagen

Definition α

Messmethode

Versuchsanlage
aktuell

Kalibrierung

Platin-Helium
Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammen-
fassung &
Ausblick

Berechnung $\alpha_{Keramik}$

Grundlagen

Definition α
Messmethode
Versuchsanlage
aktuell

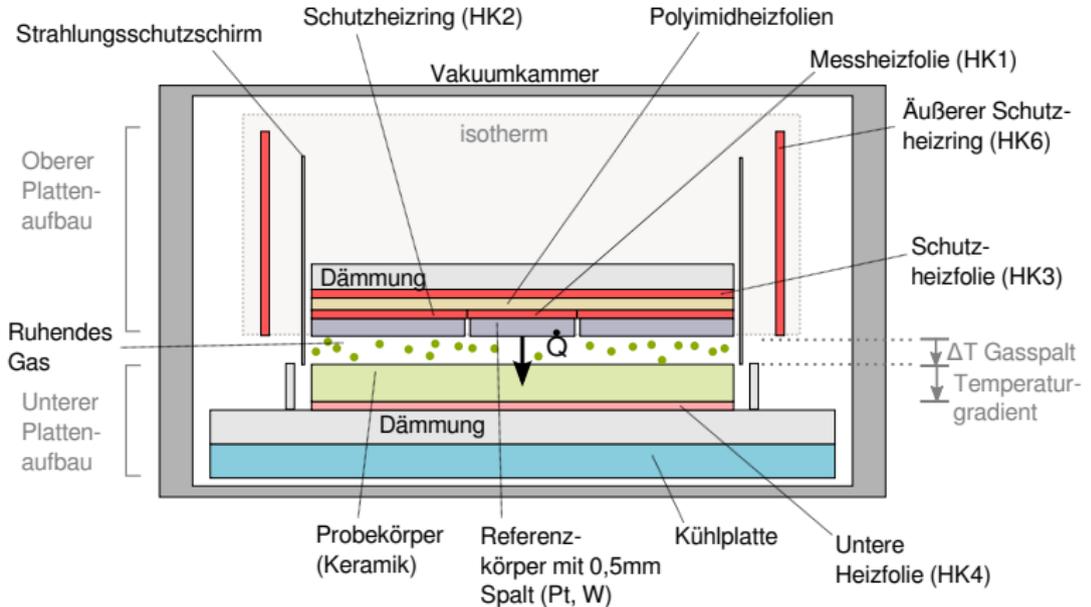
Kalibrierung

Platin-Helium
Wolfram-Helium

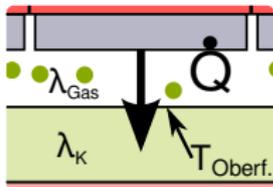
Keramik

Probleme

Zusammenfassung &
Ausblick



Berechnung $\alpha_{Keramik}$



$T_{Oberflaeche}$ veränderlich mit Druck, da neben λ_{Gas} auch λ_K veränderlich

Grundlagen

Definition α

Messmethode

Versuchsanlage
aktuell

Kalibrierung

Platin-Helium

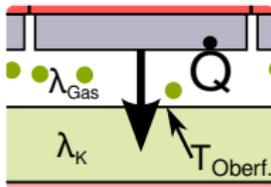
Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammen-
fassung &
Ausblick

Berechnung $\alpha_{Keramik}$

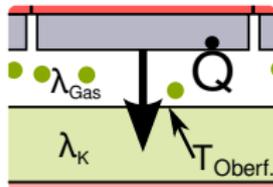


$T_{Oberflaeche}$ veränderlich mit Druck, da neben λ_{Gas} auch λ_K veränderlich

Für $p = 500 \text{ mbar}$ (mit Keramik):

$$\dot{q}_{TR} = \frac{\Delta T}{\frac{s_{Gas}}{\lambda_{Gas}} + \frac{s_K}{\lambda_K}} \quad (3)$$

Berechnung $\alpha_{Keramik}$



$T_{Oberflaeche}$ veränderlich mit Druck, da neben λ_{Gas} auch λ_K veränderlich

Für $p = 500 \text{ mbar}$ (mit Keramik):

$$\dot{q}_{TR} = \frac{\Delta T}{\frac{s_{Gas}}{\lambda_{Gas}} + \frac{s_K}{\lambda_K}} \quad (3)$$

Nach Kaganer 1969:

$$\lambda_{Gas} = \frac{\lambda_{Gas,0}}{1 + 2\beta Kn} \quad (4)$$

Nach Wawryk 1988:

$$\beta = \frac{19}{6} Kn \frac{\alpha_R + \alpha_K - \alpha_R \alpha_K}{\alpha_R \alpha_K} \quad (5)$$

Nach α_K umgestellt ergibt sich:

$$\alpha_K = \left[\left[\left(\frac{\lambda_{Gas,0}}{\lambda_{Gas}} - 1 \right) \frac{3}{19} \frac{1}{Kn} \right] + 1 - \frac{1}{\alpha_R} \right]^{-1} \quad (6)$$

mit

$$\lambda_{Gas} = \frac{s_{Gas}}{\frac{\Delta T}{\dot{q}_{TR}} - \frac{s_K}{\lambda_K}} \quad (7)$$

- 1 Messung α_R , sofern nicht vorhanden
- 2 Messung $\lambda_{Gas,0}$ bei 1 bar
- 3 Messung λ_K bei 500 mbar (ohne Gasspalt)
- 4 Messung \dot{q}_{TR} (mit Gasspalt)
- 5 Berechnung α_K

ΔT ... Gesamttemperaturdifferenz

s_{Gas} und s_K ... Dicken Gasspalt bzw. poröser Keramik

λ_{Gas} und λ_K ... Gaswärmeleitfähigkeit bzw. eff. Wärmeleitfähigkeit der Keramik bei reduziertem Druck

$\lambda_{Gas,0}$... Gaswärmeleitfähigkeit bei 1 bar

\dot{q}_{TR} ... Wärmestrom bei 500mbar, TR ... Transition/Übergangsbereich

Grundlagen

Definition α
Messmethode
Versuchsanlage
aktuell

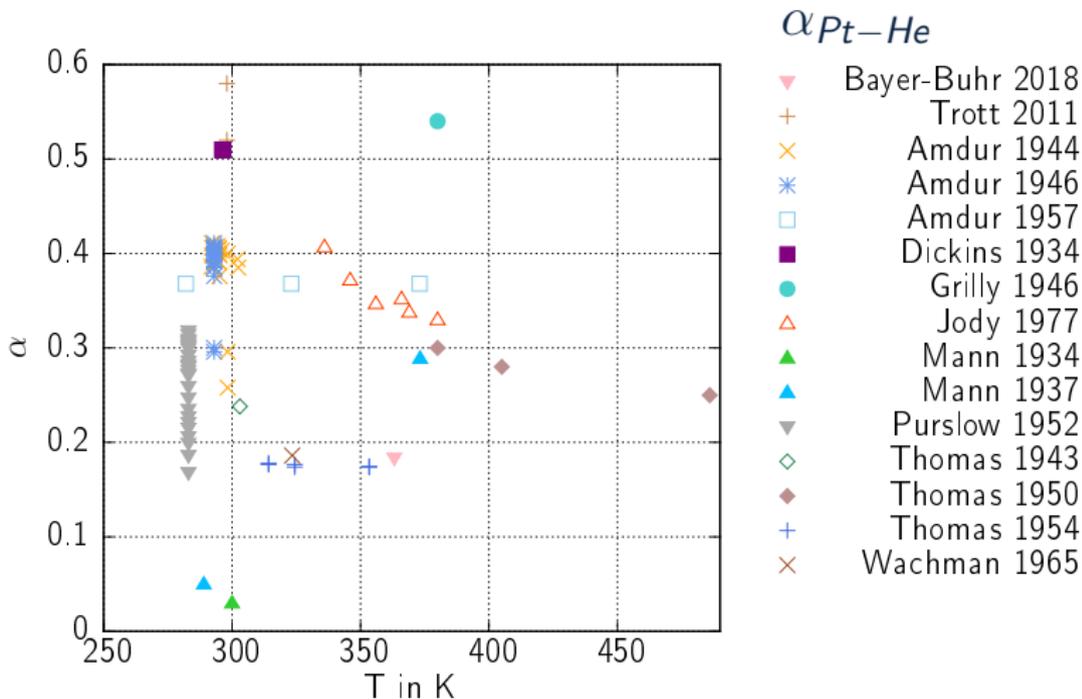
Kalibrierung

Platin-Helium
Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammenfassung &
Ausblick



- Auswertung Literatur schwierig, da oftmals kontaminierte Oberflächen an jeweiligen Stoffkombinationen
- Ergebnis plausibel, wenn auch große Messunsicherheit

Grundlagen

Definition α
Messmethode
Versuchsanlage
aktuell

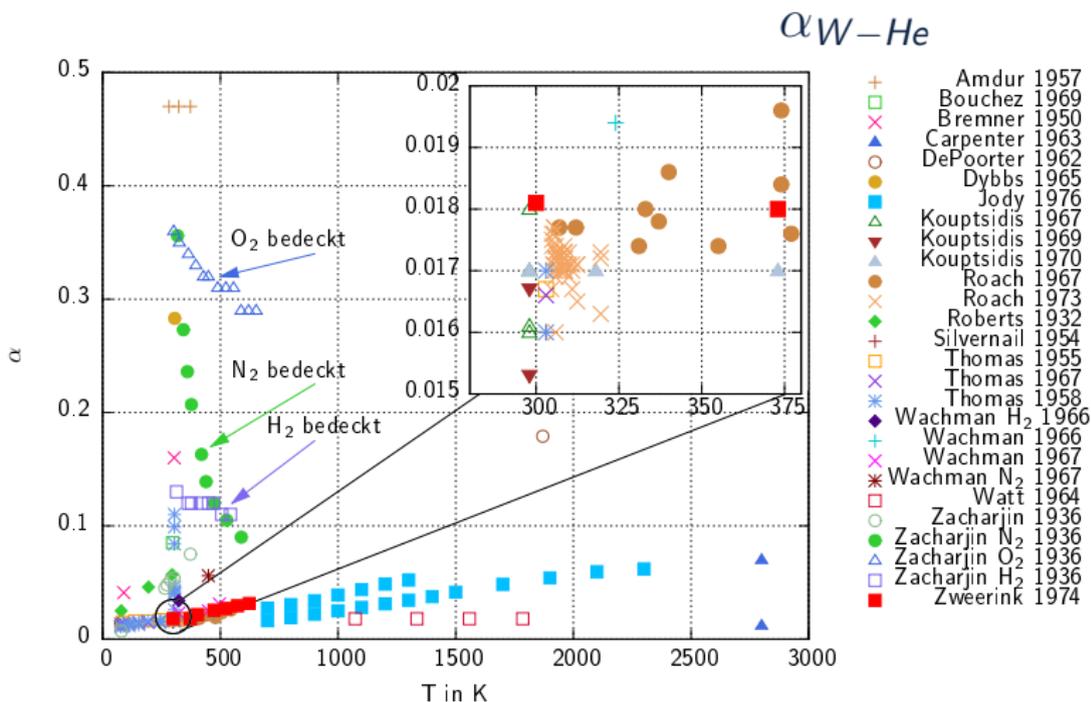
Kalibrierung

Platin-Helium
Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammenfassung &
Ausblick



- Auswertung Literatur: α_{W-He} sehr klein, geringe T-Abh., jedoch großer Einfluss von adsorbierten Gasen

Grundlagen

Definition α

Messmethode

Versuchsanlage
aktuell

Kalibrierung

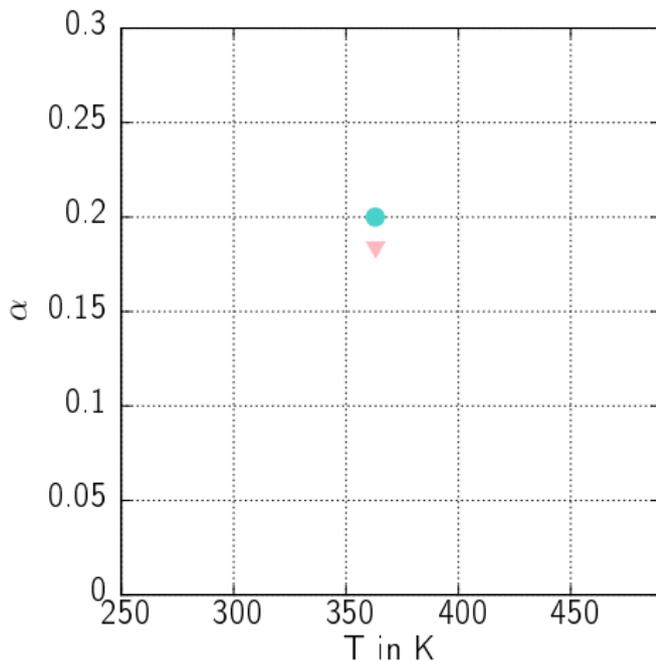
Platin-Helium

Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammen-
fassung &
Ausblick



Pt-He
Pt-He-Calciumsilikat

- Erster Wert an hochporösem Calciumsilikat (ca. 90 % offene Porosität, Porengrößen 320 nm/700 nm)

Bisherige Probleme

Grundlagen

Definition α

Messmethode

Versuchsanlage
aktuell

Kalibrierung

Platin-Helium

Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammen-
fassung &
Ausblick

- Generell kleine Wärmeströme aufgrund der Gasleitung → Vermeidung bzw. Quantifizierung von Wärmeverlusten
- Veränderlicher Kontaktwiderstand zwischen Thermoelementen und Ort der Messung → Messunsicherheit der Wiederholungsmessungen groß
- Mit Argon und Stickstoff bisher noch nicht messbar → \dot{Q} zu klein → Verbesserung durch größere Fläche

Zusammenfassung & Ausblick

Grundlagen

Definition α

Messmethode

Versuchsanlage
aktuell

Kalibrierung

Platin-Helium

Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammen- fassung & Ausblick

- Frage: Wie hoch α ? \rightarrow Einfluss auf λ_{eff} bewerten
- Aufbau einer Messapparatur
 - Probleme mit veränderlichem Kontaktwiderstand
 - \dot{Q} zu klein
 - \rightarrow Verbesserung durch größere Fläche
- Erstes glaubwürdiges Kalibrierergebnis erzielt
- Erstes Messergebnis an Calciumsilikat plausibel \rightarrow weitere Versuche zur Bewertung

- Weitere Ziele:
 - Messung mit Argon, Stickstoff
 - Bewertung des Rauigkeitseinflusses an Keramiken und Metallen



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BERGAKADEMIE FREIBERG

Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



technische
THERMO
DYNAMIK

Grundlagen

Definition α

Messmethode

Versuchsanlage
aktuell

Kalibrierung

Platin-Helium
Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammen-
fassung &
Ausblick

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Doreen Bayer-Buhr, Rhena Wulf, Tobias Fieback, Ulrich Groß

Technische Universität Bergakademie Freiberg

Lehrstuhl für Technische Thermodynamik

Gustav-Zeuner-Str. 7

09599 Freiberg

doreen.bayer-buhr@ttd.tu-freiberg.de

03731-392468

Grundlagen

Definition α

Messmethode

Versuchsanlage
aktuell

Kalibrierung

Platin-Helium

Wolfram-Helium

Keramik

Probleme

Zusammen- fassung & Ausblick

$$Kn = \frac{\lambda_{FW}}{s} \quad (8)$$

$$\lambda_{FW} = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi d^2 p} \quad (9)$$

λ_{FW} ... mittlere freie Weglänge des Gasteilchens (siehe Richter 2010)

s ... Dicke des Gasspaltes

k ... Boltzmannkonstante

T ... mittlere Gastemperatur

d ... Atom- bzw. Moleküldurchmesser

p ... Druck