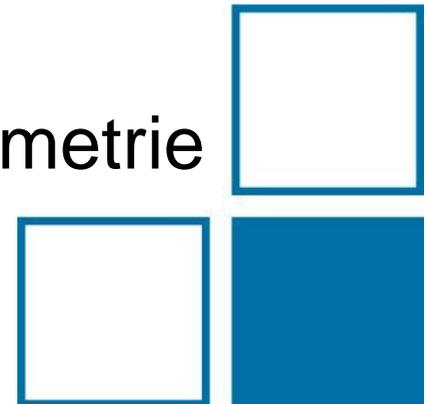
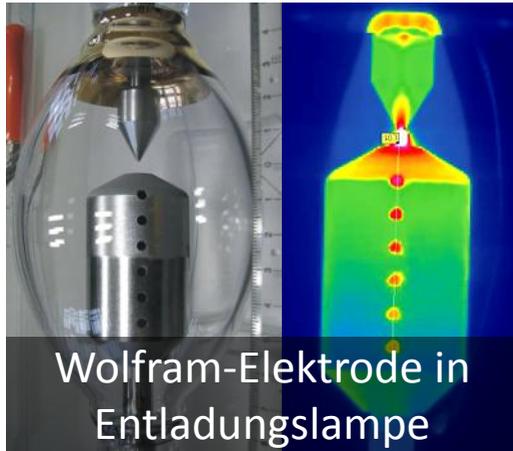


Design eines Hochtemperatur-Probenhalters für Emissionsgradmessung unter Vakuum

Max Reiniger
AG 7.32 Infrarot-Strahlungsthermometrie



- **Emissionsgrad ε**
 - Bedeutung
 - Messaufbau und Messverfahren zur Bestimmung von ε an der PTB
- **Entwicklung Probenhalter**
 - Anforderungen
 - Simulation mit COMSOL-Multiphysics
 - Physikalisches Model und Parameter
 - Optimierung des Designs
- **Finales Design des Probenhalters**
 - Überprüfung des finalen Designs
- **Stand der Fertigung**
- **Zusammenfassung**



$$\tilde{L}_{\text{Objekt}}(\lambda, \varphi, \vartheta, T)$$



$$\tilde{L}_{\text{Objekt}}(\lambda, \varphi, \vartheta, T) = \varepsilon_{\text{Objekt}}(\lambda, \varphi, \vartheta, T) * L_{\text{Planck}}(\lambda, T)$$

Unsicherheit skaliert linear mit Strahldichte
- Emissionsgrad muss sehr genau bekannt sein

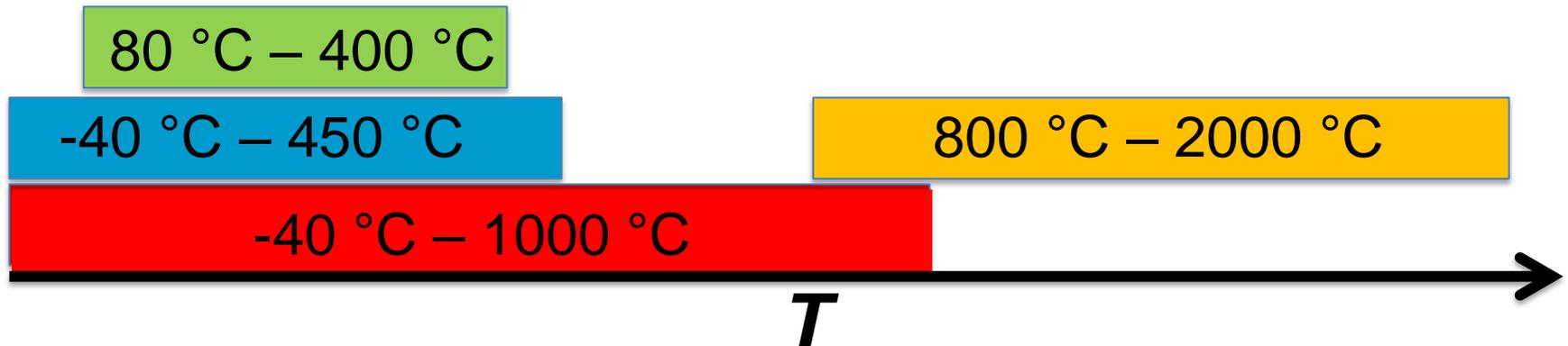
Bedeutung u.a. in

- Turbinentechnik
- Stahlverarbeitende Industrie
- Solarthermie
- Simulation von Wärmetransport

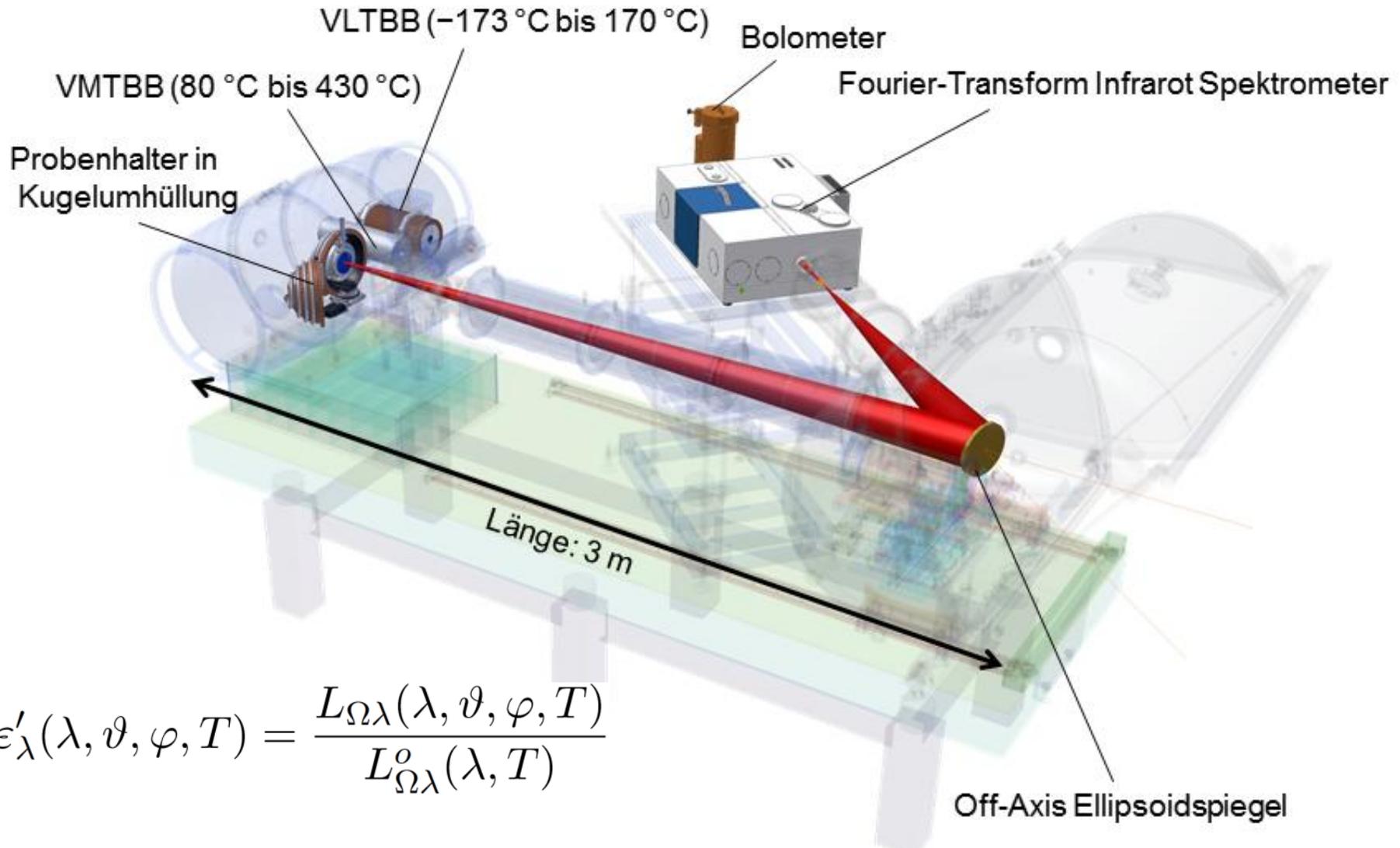
Temperaturbereich	Spektralbereich	Methode	Medium
-40 °C - 450 °C	4 μm - 100 μm	Strahldichtevergleich	Vakuum
80 °C - 400 °C	4 μm - 40 μm	Strahldichtevergleich	Luft
800 °C - 2000 °C	0.4 μm - 1.1 μm	Laser-Flash	Schutzgas

Erweiterung des Temperaturbereiches im Vakuum (-40 °C - 1000 °C)

- Temperaturbereich von -40 °C – 2000 °C
- Erweiterung des spektralen Bereichs (0.4 μm – 100 μm)
- Erlaubt Vergleich der Methoden



Emissionsgradmessung unter Vakuum

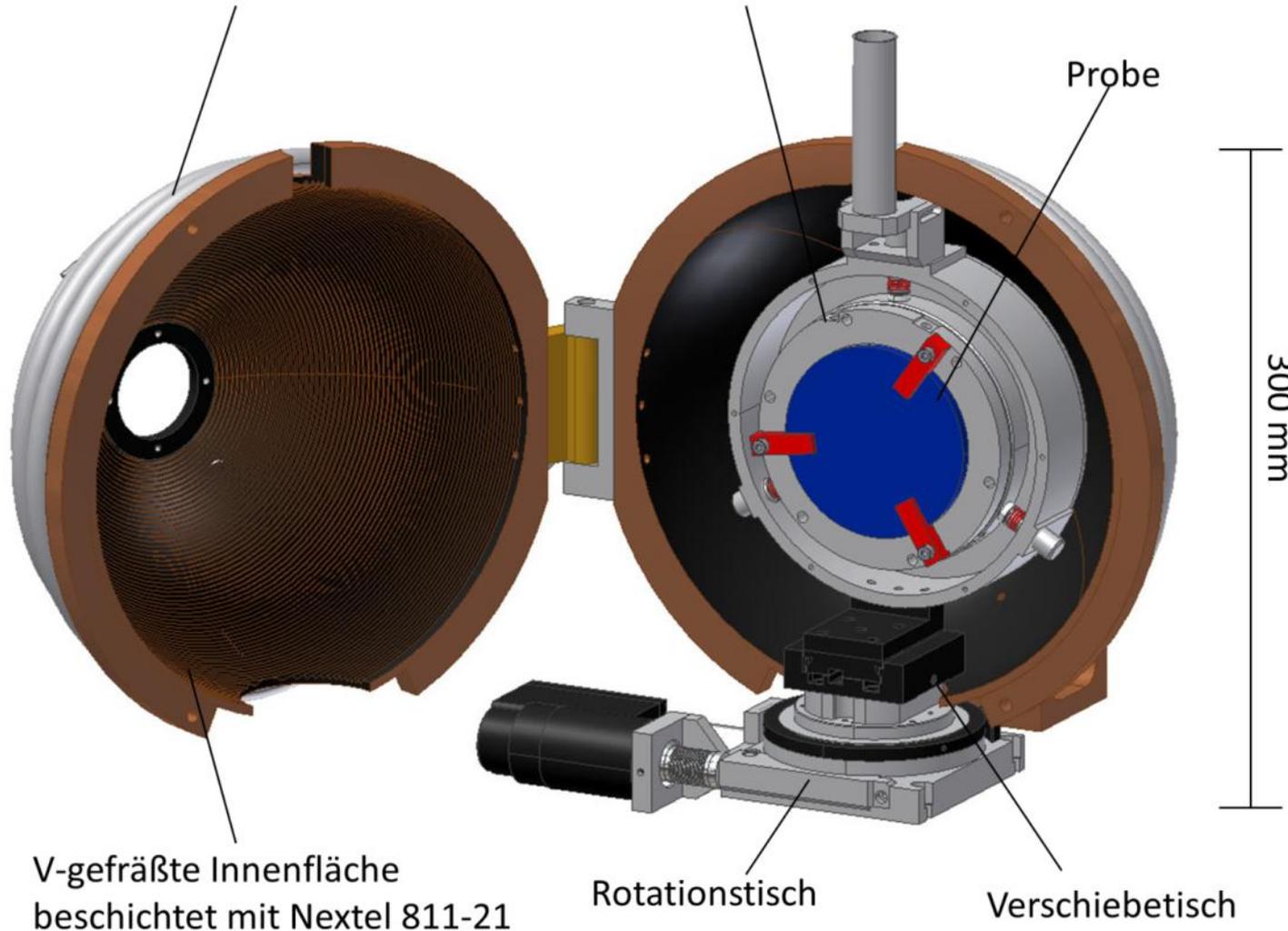


$$\varepsilon'_{\lambda}(\lambda, \vartheta, \varphi, T) = \frac{L_{\Omega\lambda}(\lambda, \vartheta, \varphi, T)}{L_{\Omega\lambda}^{\circ}(\lambda, T)}$$

Probenhalter in Kugelumhüllung

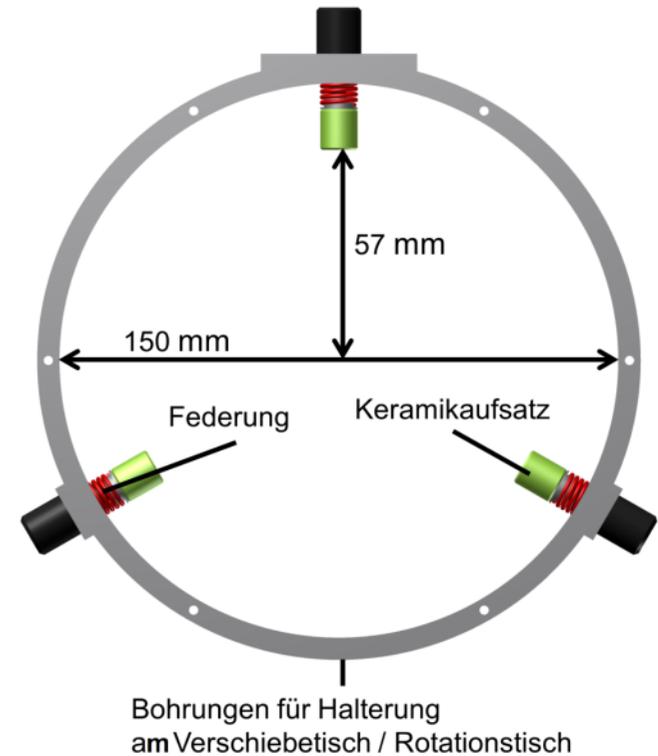
Kugelumhüllung (-80 °C bis 80 °C)

Probenhalter (-40 °C bis 600 °C)



Anforderung an den neuen Probenhalter

- Kompatibel zum vorhandenen Aufbau
- Temperatur von bis zu 1000 °C mit Heizleitern
- homogene Temperaturverteilung auf der Probenoberfläche
- Proben mit 50 mm Durchmesser und 5 mm Höhe



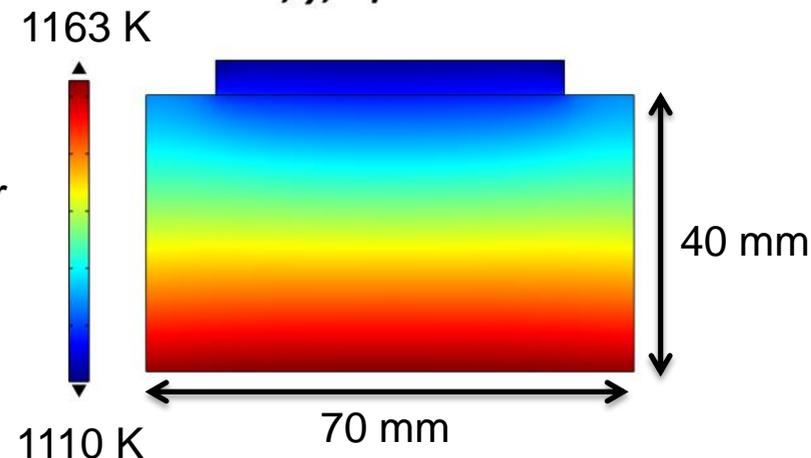
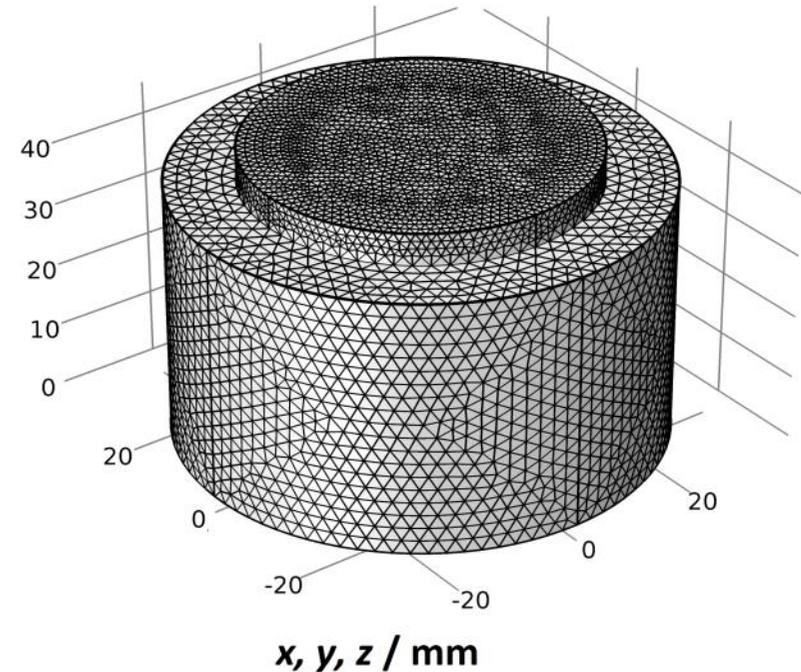
→ Optimierung der thermischen Eigenschaften mittels der Finiten-Elemente-Methode (Simulation)

Simulation mit COMSOL-Multiphysics

- Erstellung der Geometrie
- Festlegung der Materialparameter
- Definition des Wärmetransports
- Unterteilung in finite Elemente
- Gleichungssystem
- Lösung der Wärmeleitungsgleichung auf dem Netz

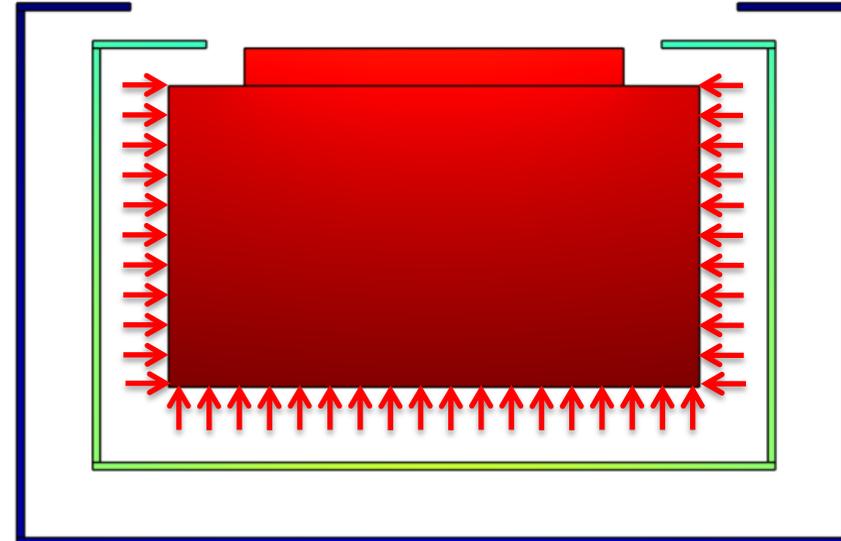
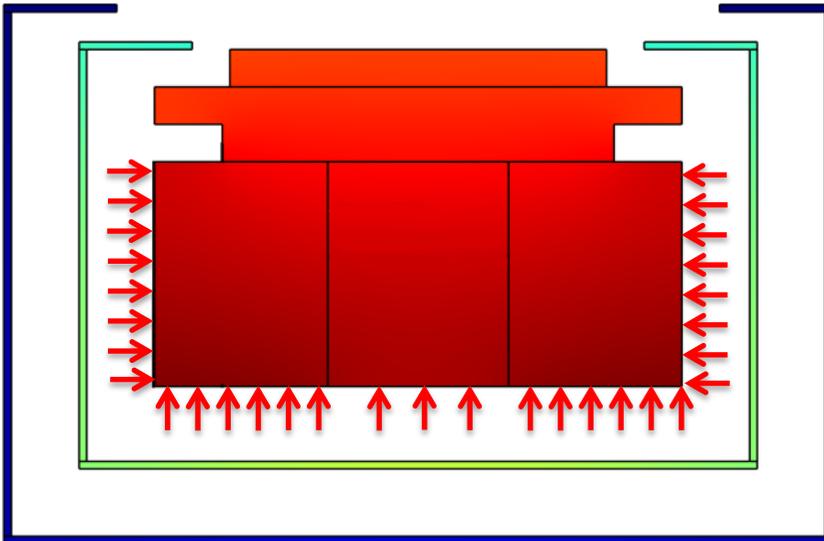
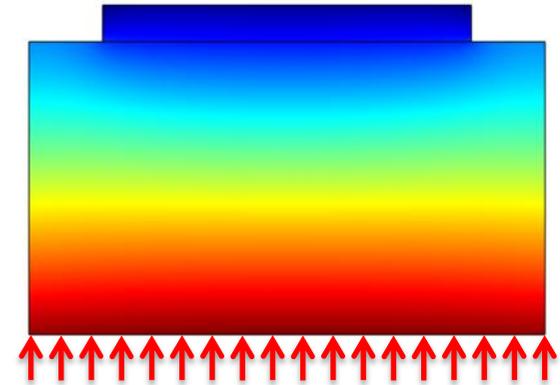
Beurteilung der Ergebnisse

- Oberflächentemperatur am Mittelpunkt der Probe
- ΔT zwischen Probenoberfläche und Heizleiter
- Temperaturverteilung auf der Probenoberfläche
- Heizleistung



Was wurde variiert?

- Heizkonzept: Heizzonen, Heizleistung
- Werkstoffe: Inconel, Nickel, Molybdän
- Strahlenschilde
- Geometrische Anpassung
- Emissionsgrad der Proben



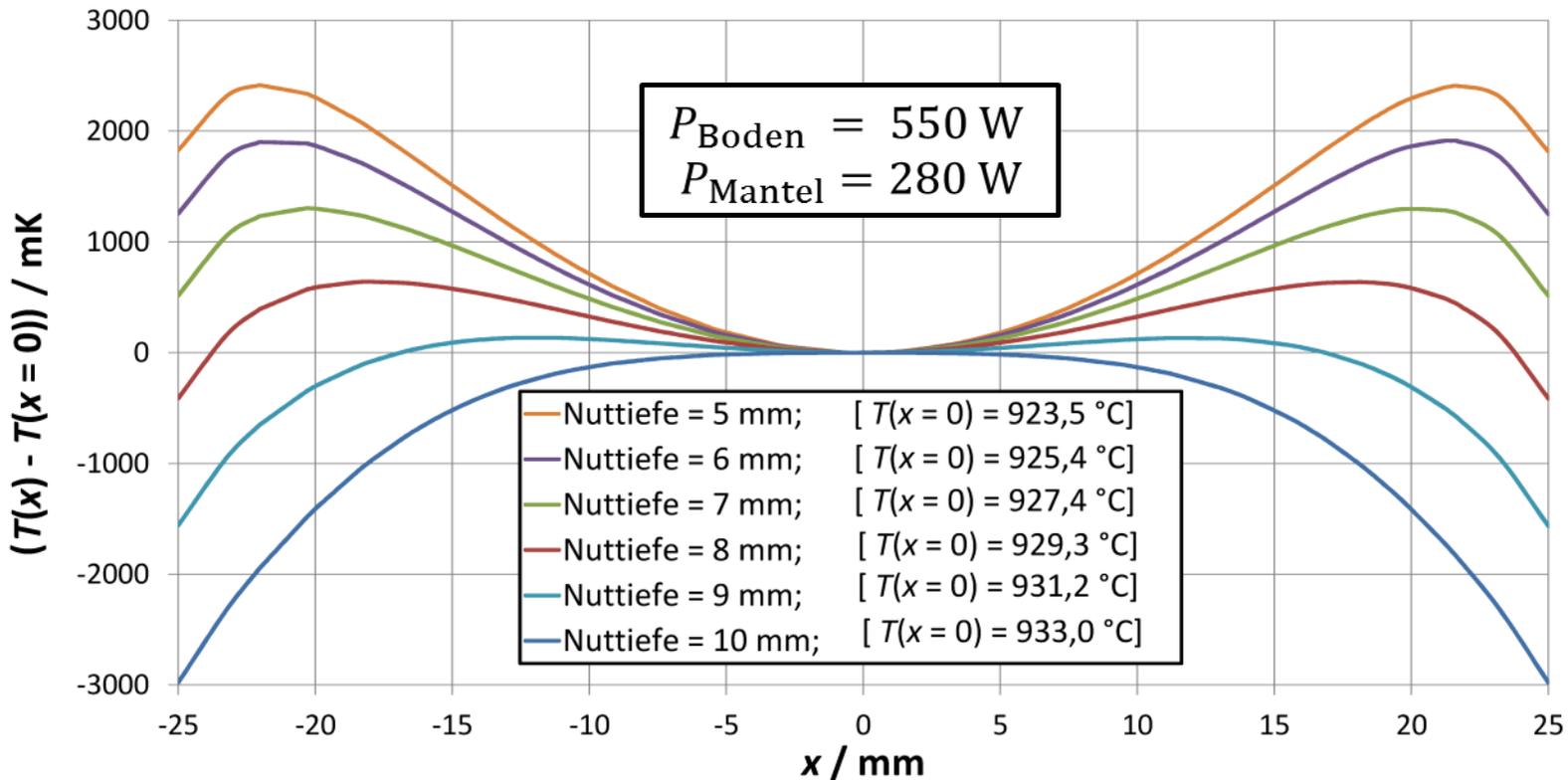
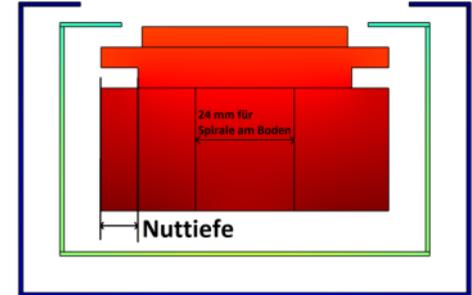
Nut zur Homogenitätsverbesserung

- **Nickel 200**

- $k = 68,2 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$

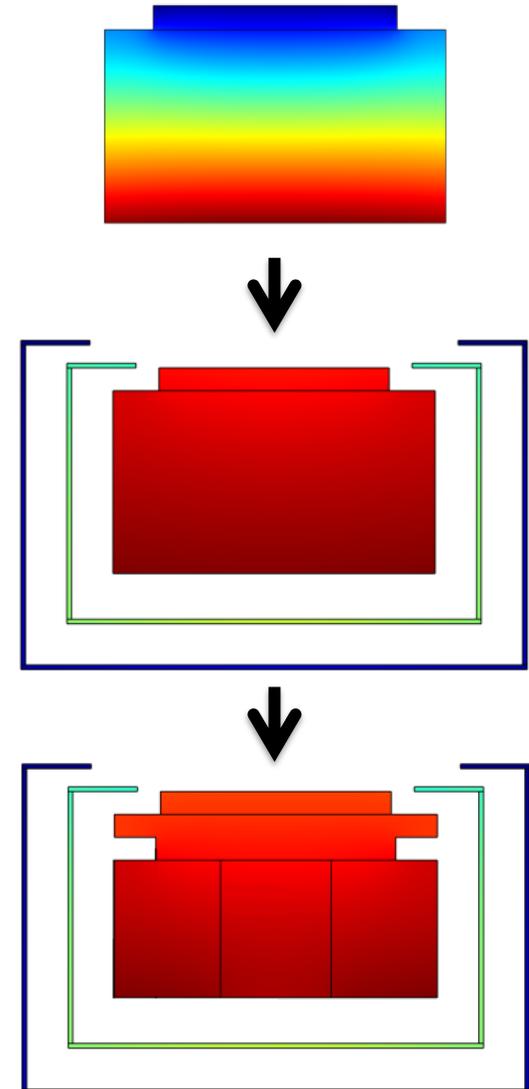
- $\varepsilon_{\text{Halter}} = \varepsilon_{\text{Schild}} = 0,4$

- $\varepsilon_{\text{Probe}} = 1$

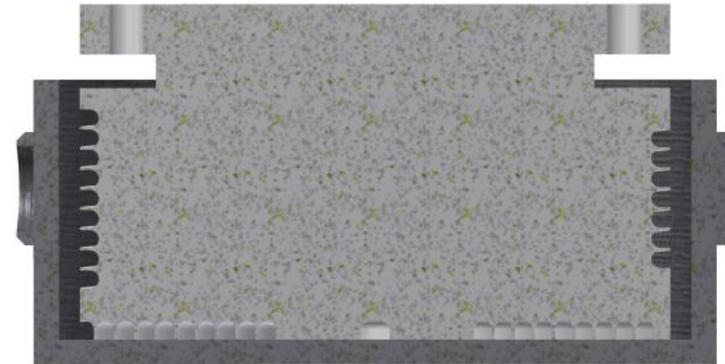
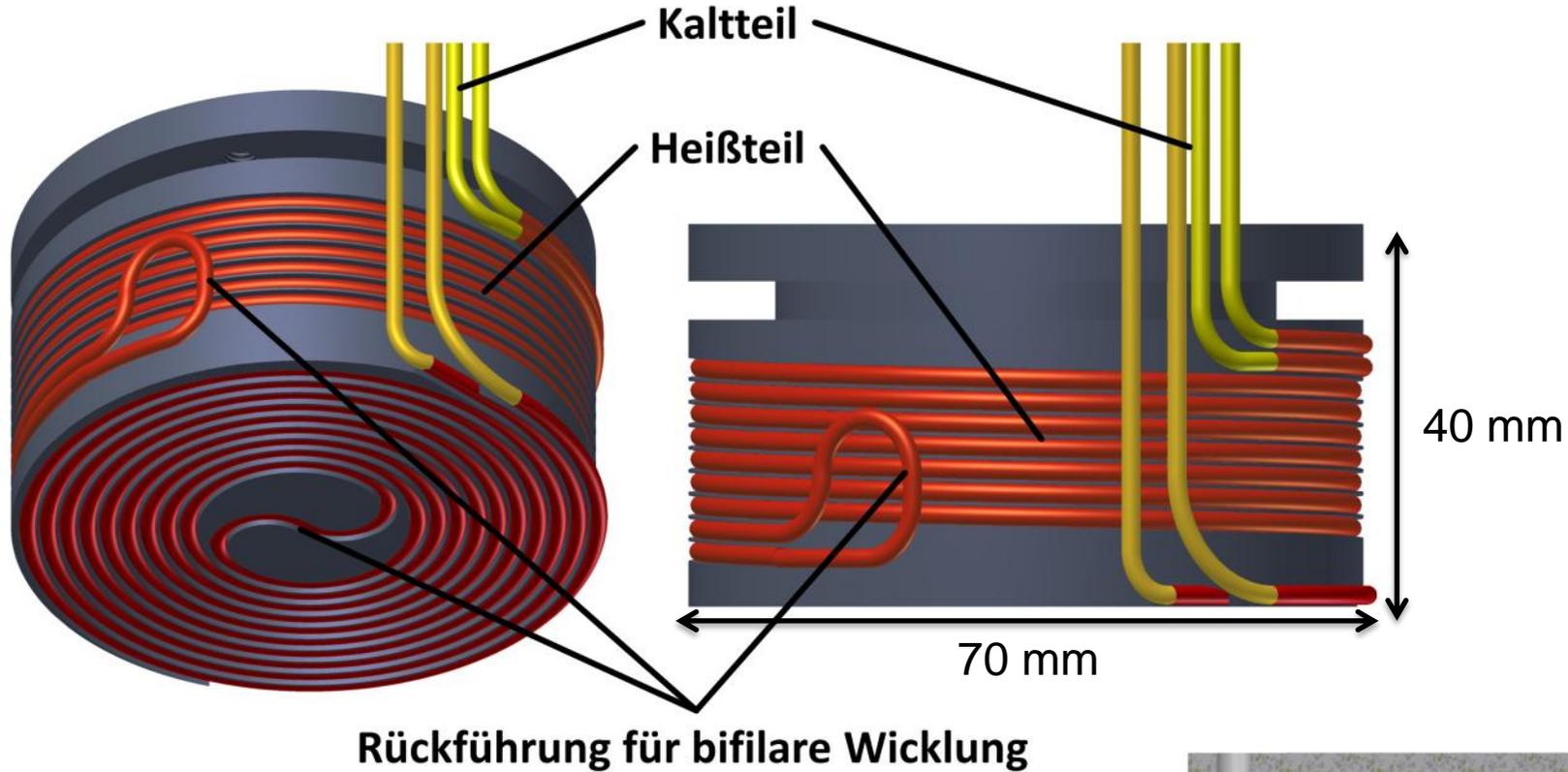


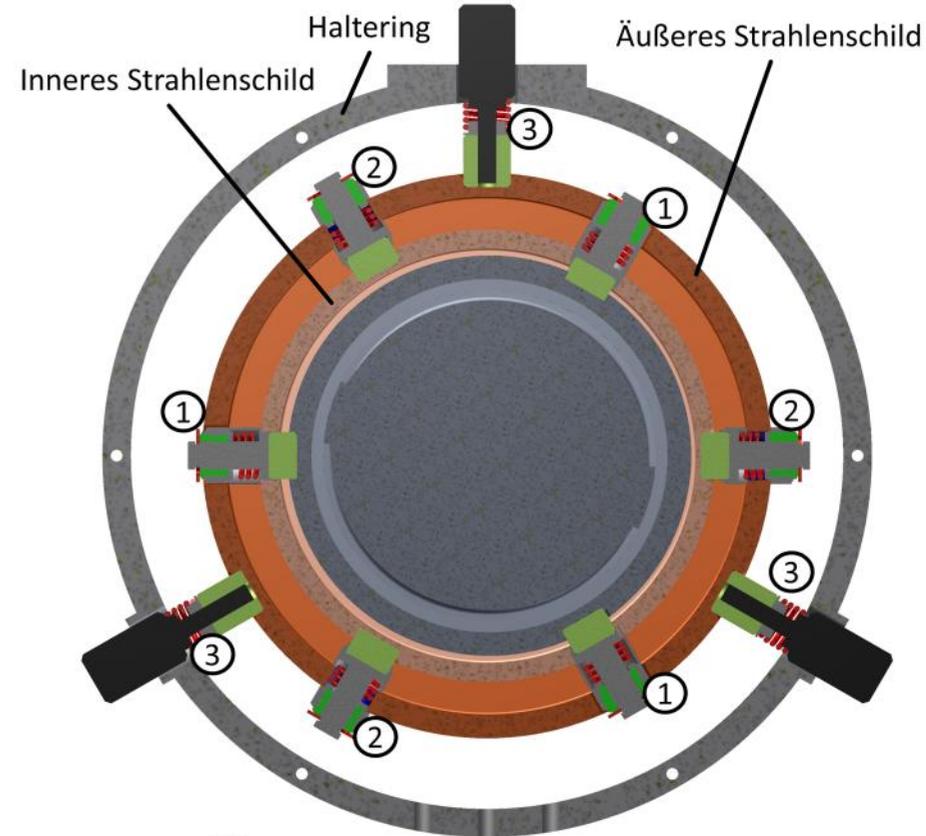
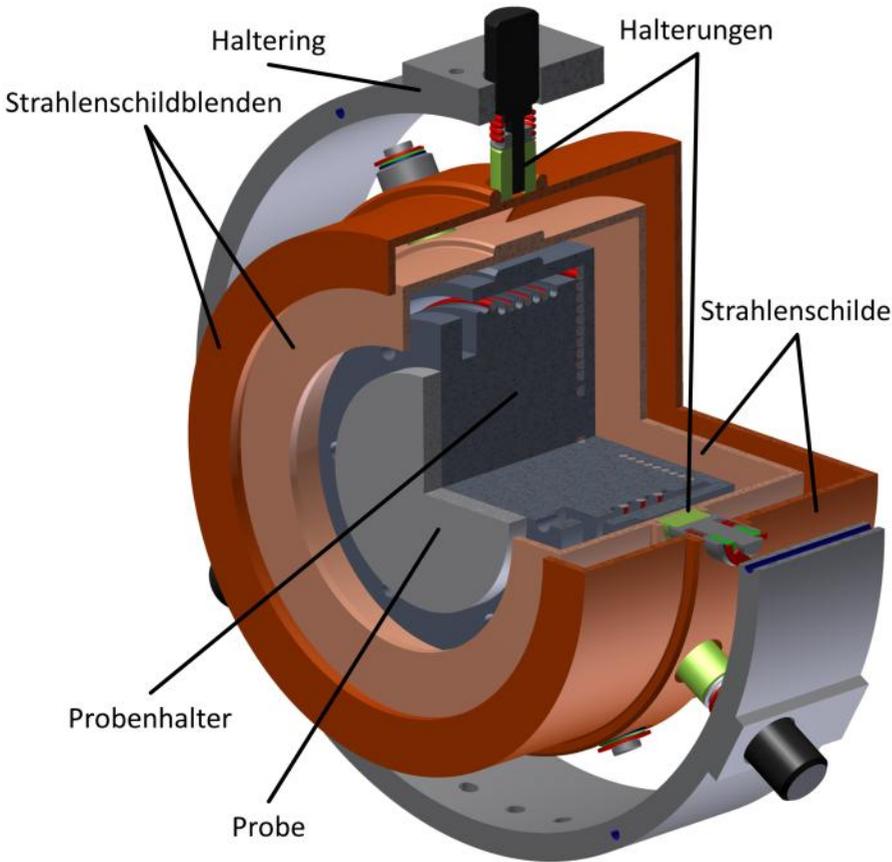
Ergebnisse der Simulationen

- Material: Molybdän
 - Probertemperatur von 1000 °C
 - verringert benötigte Heizleistung
- Zwei Heizzonen
 - Einstellung der Homogenität für verschiedene Probenemissionsgrade
- Nut zur Homogenitätsverbesserung
 - Schafft eine gute Anfangshomogenität
- Strahlenschilde
 - verringert benötigte Heizleistung



Konstruktion des Probenhalters

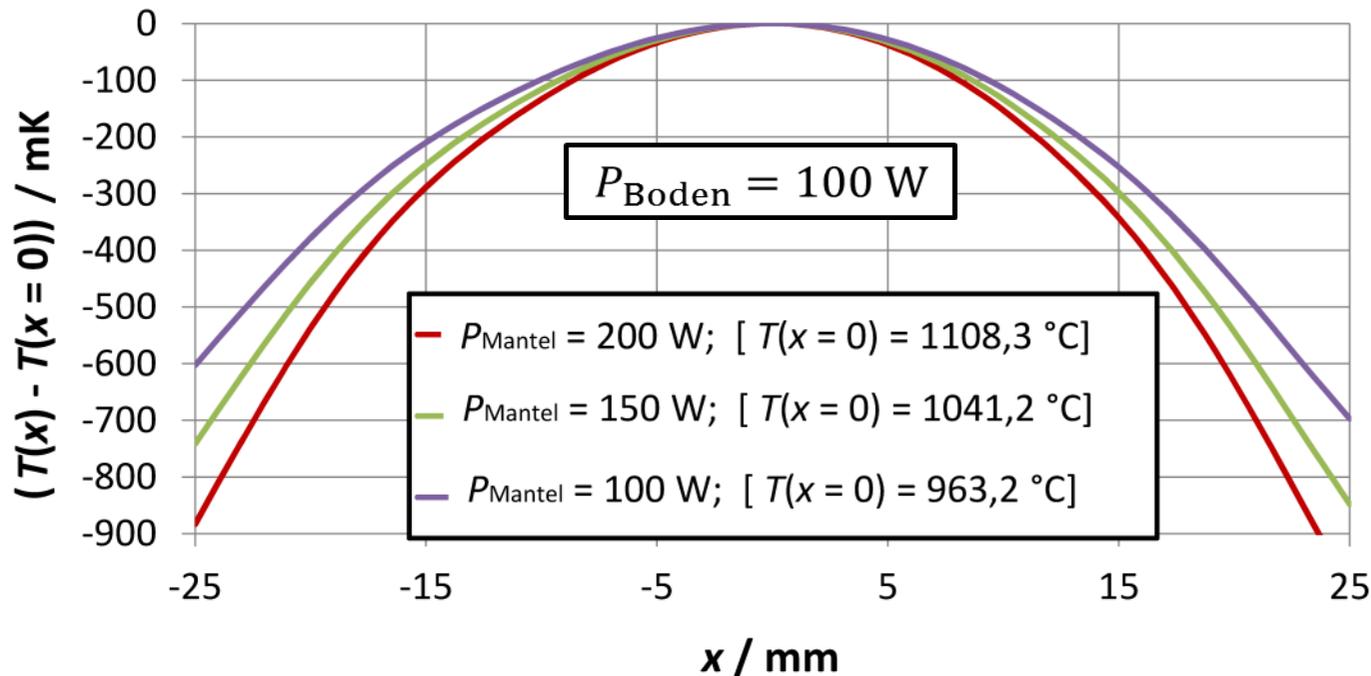
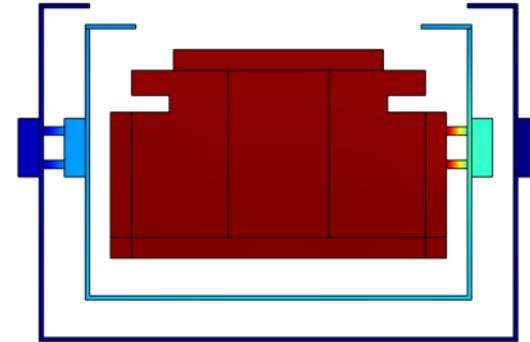




- ① Halterungen Probenhalter
- ② Halterungen inneres Strahlenschild
- ③ Halterungen äußeres Strahlenschild

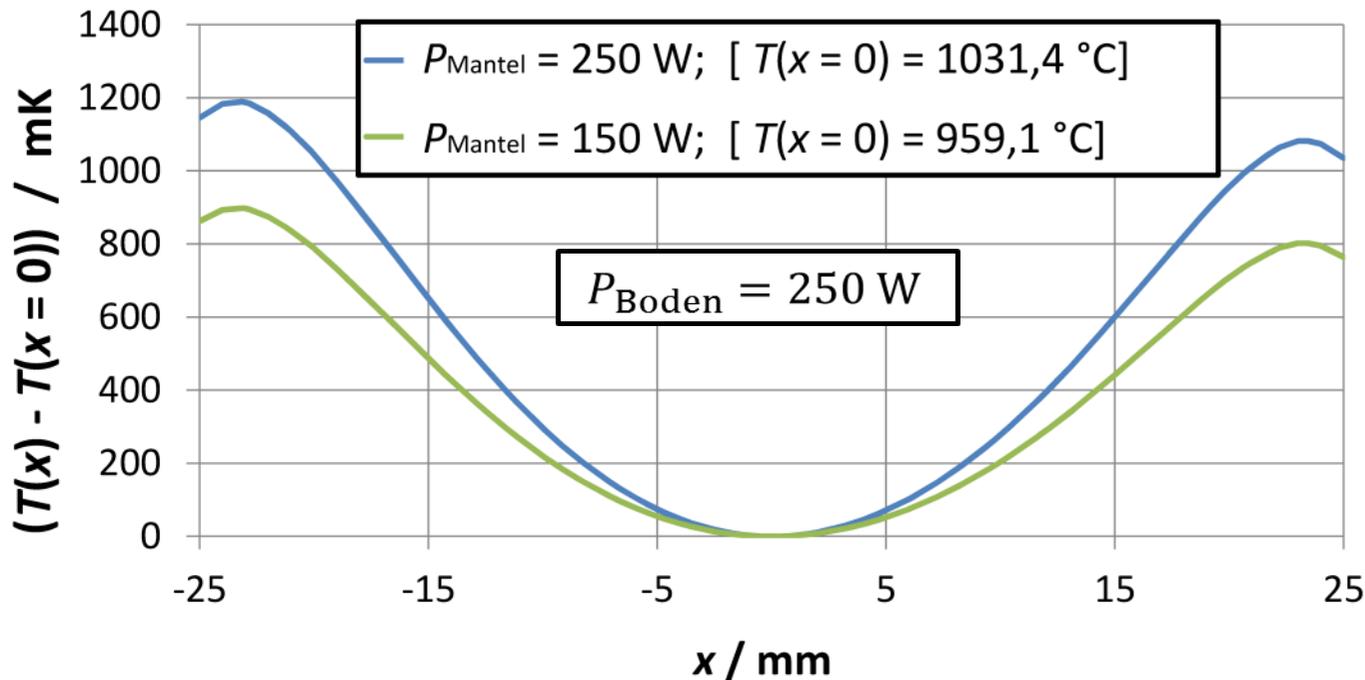
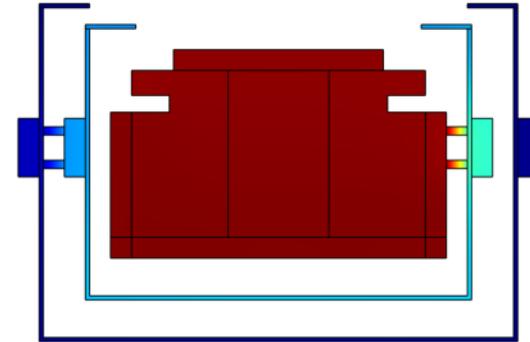
Abschließende Überprüfung des Designs

- **Molybdän**
 - $k = 110 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$
 - $\varepsilon_{\text{Halter}} = \varepsilon_{\text{Schild}} = 0,05$
- $\varepsilon_{\text{Probe}} = 0,05$



Abschließende Überprüfung des Designs

- Molybdän
 - $k = 110 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$
 - $\epsilon_{\text{Halter}} = \epsilon_{\text{Schild}} = 0,05$
- $\epsilon_{\text{Probe}} = 0,8$







Zusammenfassung

- Erfolgreiche Erweiterung des Emissionsgradmessplatzes unter Vakuum
- Entwicklung eines Probenhalter aus Molybdän mit vergoldeten Strahlenschilden
- Arbeitstemperatur von bis zu 1000 °C (für alle Probenmaterialien)
- Untersuchungen des Heizkonzepts: zwei Heizzonen ($\Delta T_{\max} = 0,9 \text{ K}$)
- Temperaturlücke bei der Emissionsgradmessung geschlossen (450 °C - 800 °C)
- Vergleichbarkeit der Methoden zur ε - Messung

Ausblick

- Probenhalter und Strahlenschilder sind gefertigt
- Erste Messungen werden im März durchgeführt

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit