

Bayerisches Zentrum für
Angewandte Energieforschung e.V.

Erweiterung einer Apparatur zur winkelabhängigen Bestimmung des Emissionsgrades bei hohen Temperaturen

M. Rydzek, T. Stark, M. Arduini-Schuster, J. Manara

Tagung des AK-Thermophysik am 03. und 04. Mai 2012 in Graz

MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

MOTIVATION - ANWENDUNG



ZAE BAYERN

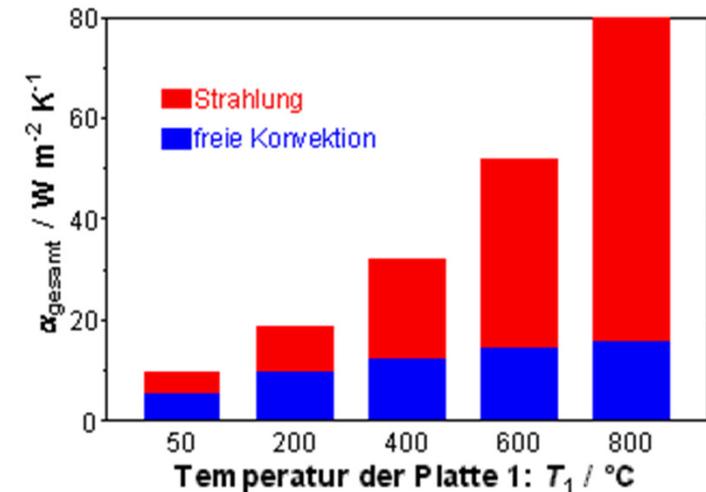
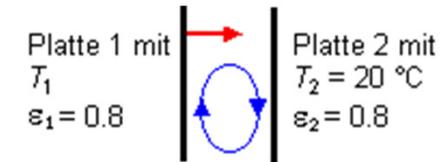
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Bedeutung des Emissionsgrades:

- Generell: Wärmeübertragung durch Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung.
- Wärmestrahlung bei hohen Temperaturen immer bedeutender.
- Für reale Oberflächen schwer zu berechnen.

→ Materialcharakterisierung und Optimierung

→ Berührungslose Temperaturbestimmung (Pyrometrie)



Allgemeine Definition des Emissionsgrads:

Der Emissionsgrad ist definiert als Quotient aus der abgestrahlten Leistung eines realen Körpers und der abgestrahlten Leistung eines schwarzen Körpers gleicher Temperatur.

$$\varepsilon = \frac{I_{\text{Probe}}}{I_{\text{Schwarzkörper}}}$$

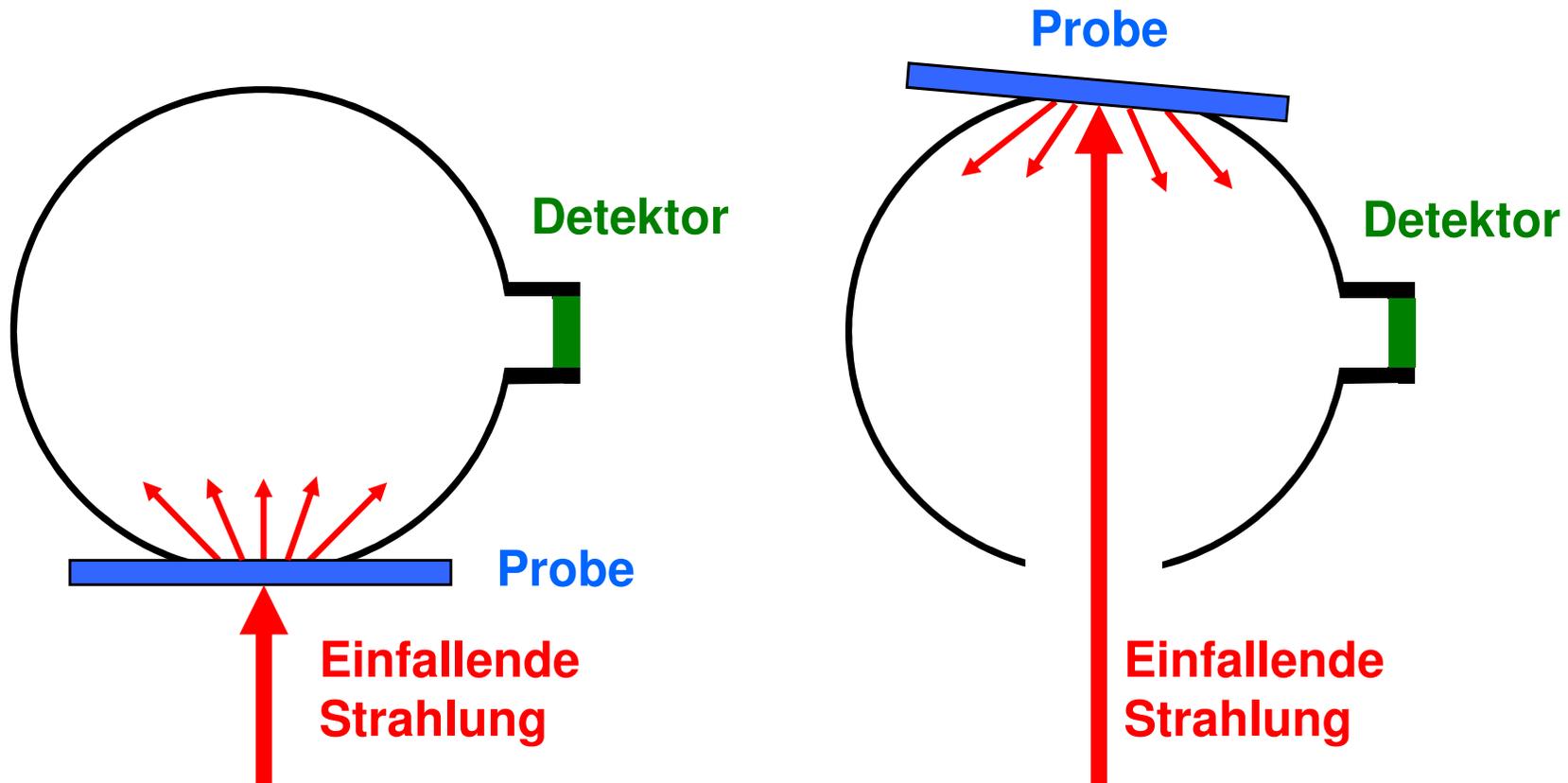
MÖGLICHKEITEN ZUR BESTIMMUNG DES EMISSIONSGRADES

Indirekte radiometrische Messung :

Bestimmung von Reflexions-
und Transmissionsgrad
mittels integrierender Kugel.

→ Berechnung des Emissionsgrades!

$$\varepsilon_g = 1 - T_{gh} - R_{gh}$$



MÖGLICHKEITEN ZUR BESTIMMUNG DES EMISSIONSGRADES



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Direkte radiometrische Messung:

Direkte Bestimmung der
emittierten Wärmestrahlung!

Probe im Ofen heizen



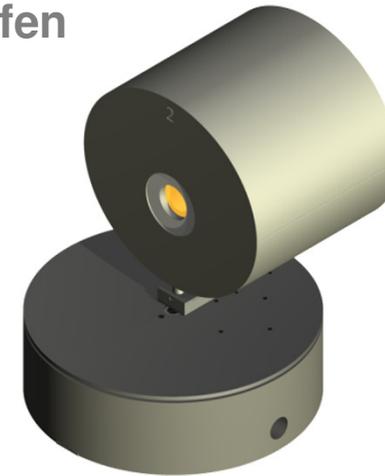
Emittierte Strahlung detektieren



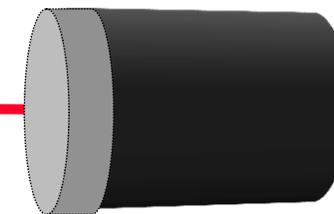
Vergleich mit Schwarzkörper-
strahlung bei gleicher Temperatur

$$\varepsilon'_\lambda(\lambda, \vartheta, \varphi, T) = \frac{i'_\lambda(\lambda, \vartheta, \varphi, T)}{i'_{\lambda,s}(\lambda, T)}$$

Ofen



Detektor



Probe/Schwarzkörper

Schwarzkörper:

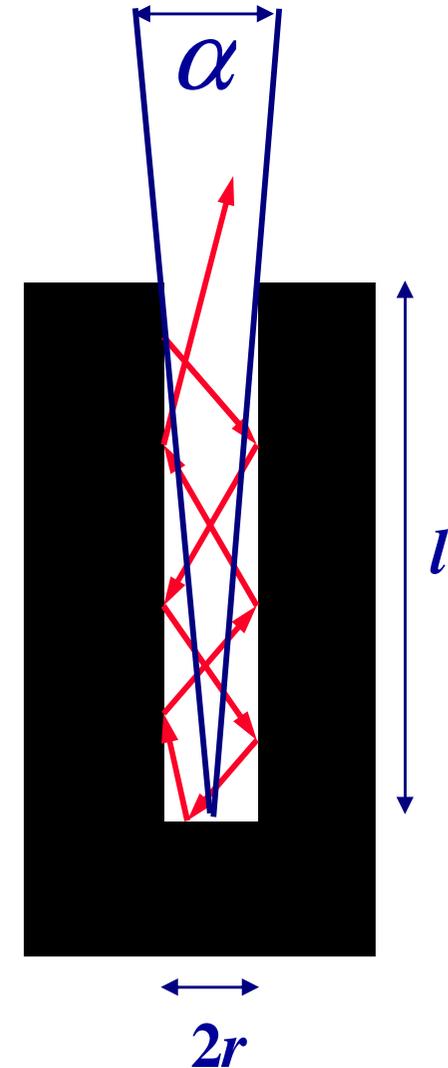
- Realisierung durch Hohlraumstrahler.
- Homogene Temperatur innerhalb des Hohlraums.
- Lambert'sche Reflexion an den Wänden.

→ Berechnung des Emissionsgrades des Schwarzkörpers aus dem Oberflächenemissionsgrad:

$$\varepsilon_{\lambda,SK} = 1 - \rho_{\lambda,SK} = 1 - \frac{\rho_{\lambda,OF}}{1 - \rho_{\lambda,OF}} \sin^2 \frac{\alpha}{2} = 1 - \frac{\varepsilon_{\lambda,OF}}{1 - \varepsilon_{\lambda,OF}} \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2}$$

SK: Schwarzkörper
OF: Oberfläche

mit $\varepsilon_{\lambda,OF} = 0,5$
 → $\varepsilon_{\lambda,SK} > 0,99$
 für $l/r > 10$



BESTIMMUNG DES EMISSIONSGRADES



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Intensität der Probe:

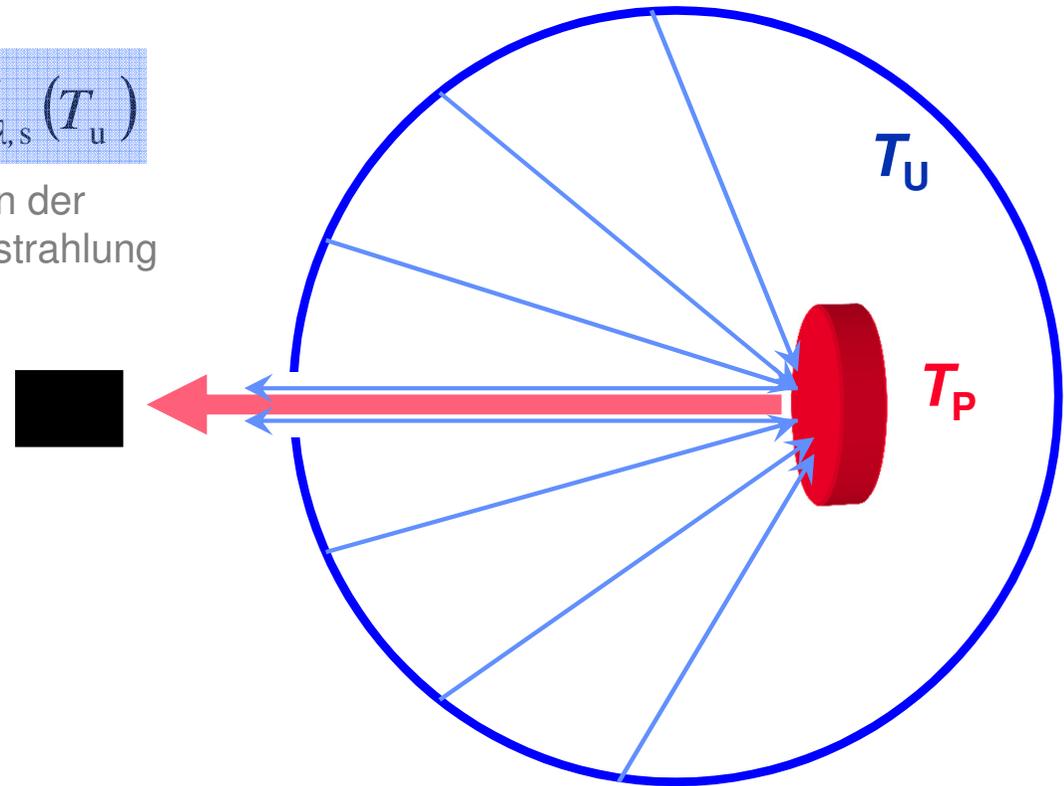
$$i'_{\lambda}(T_p, T_u) = \underbrace{\varepsilon'_{\lambda}(T_p) i'_{\lambda,s}(T_p)}_{\text{Emission der Probe}} + \underbrace{\rho_{\lambda, hg}(T_p) i'_{\lambda,s}(T_u)}_{\text{Reflektion der Umgebungsstrahlung}}$$

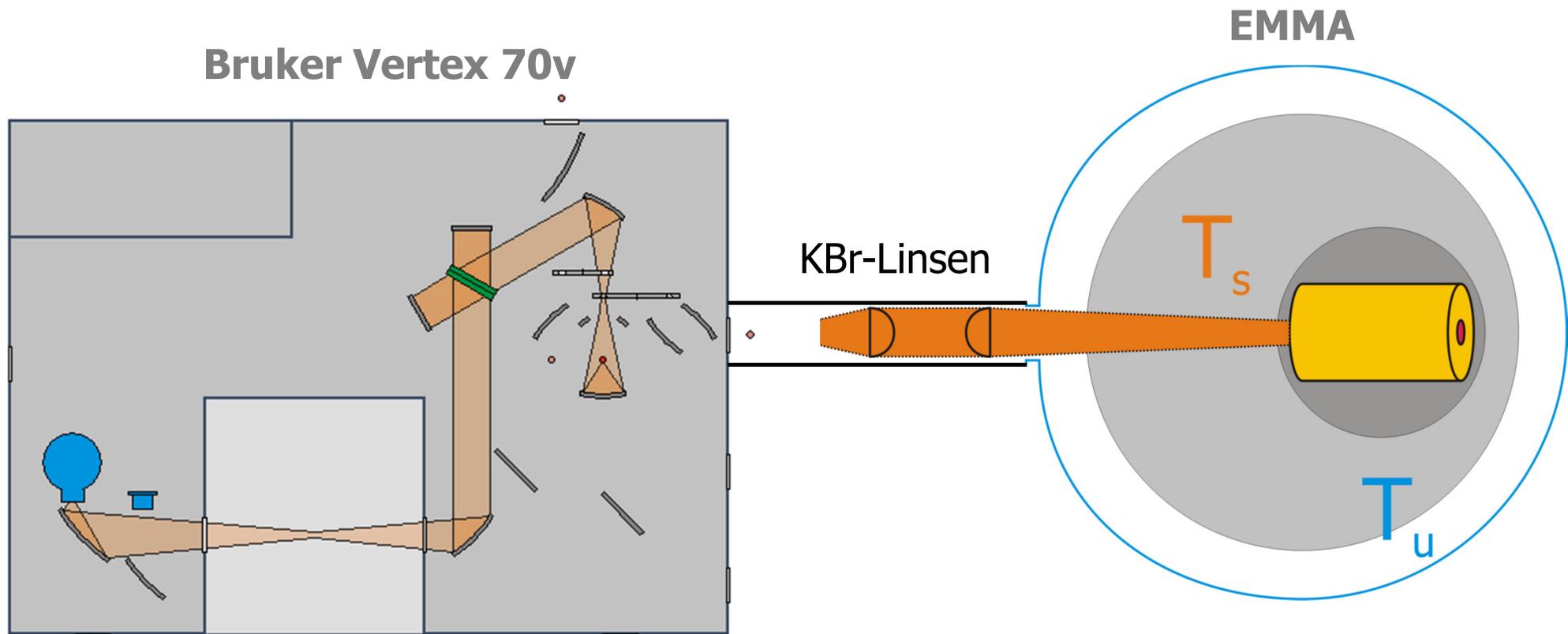
$$\rho_{\lambda, hg} = \rho_{\lambda, gh}$$

$$\varepsilon'_{\lambda} + \rho_{\lambda, gh} = 1$$

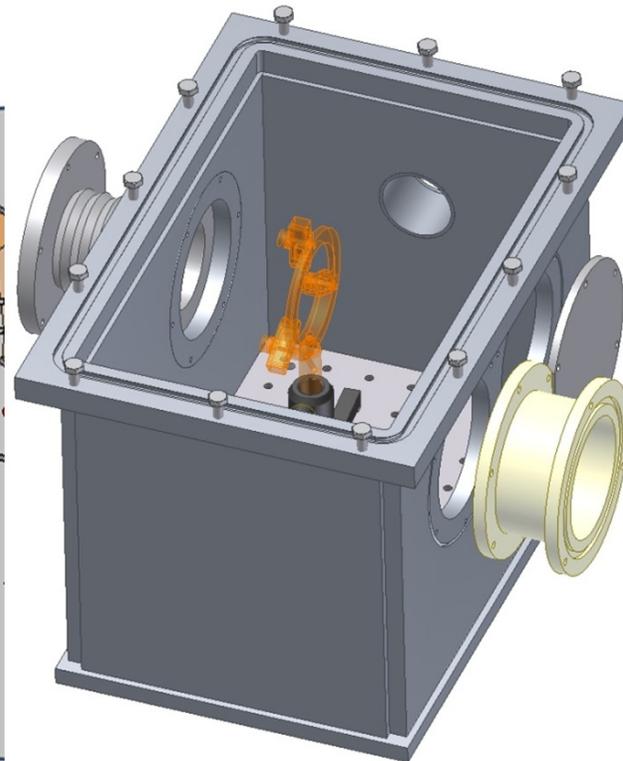
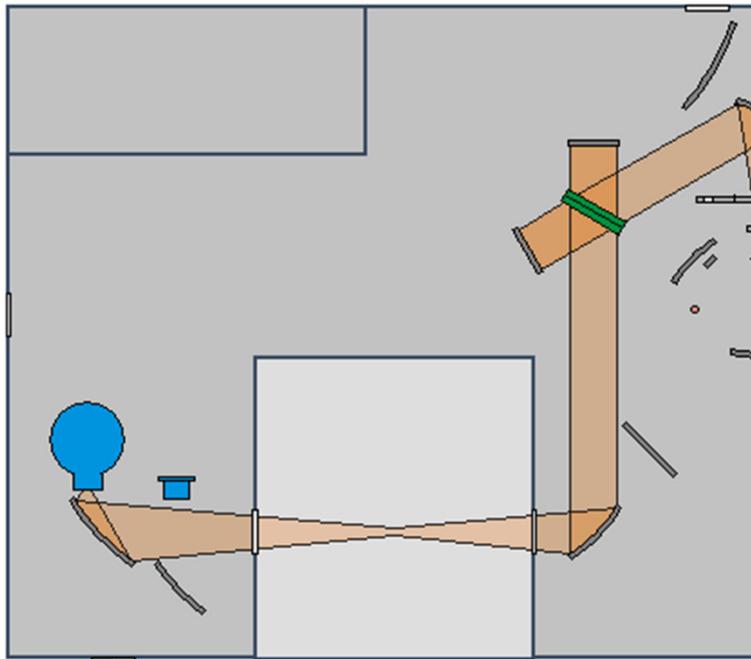
$$\varepsilon'_{\lambda}(T_p) = \frac{i'_{\lambda}(T_p, T_u) - i'_{\lambda,s}(T_u)}{i'_{\lambda,s}(T_p) - i'_{\lambda,s}(T_u)}$$

In die Berechnung des Emissionsgrades fließen neben der gemessenen Intensität auch die Temperatur der Probe und der Umgebung ein!





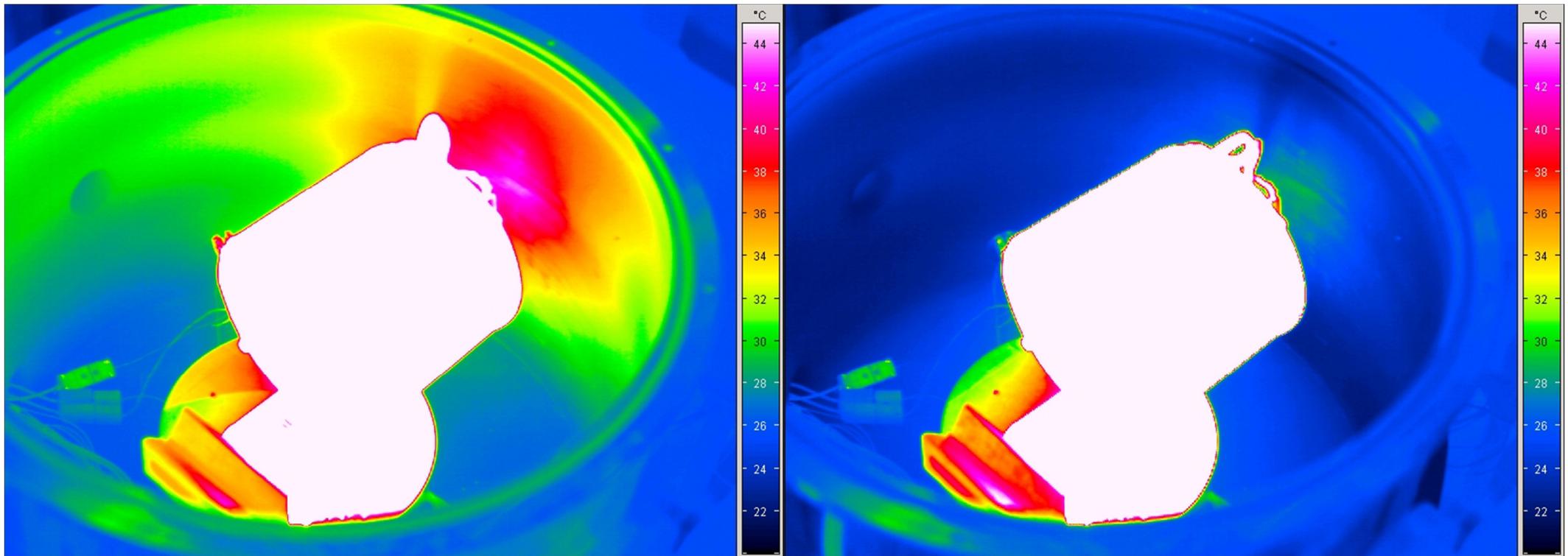
Bruker Vertex 70v



EMMA



Thermographie Vakuumtopf und Ofen: Konstante Umgebungstemperatur



VERSUCHSAUFBAU



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Bestimmung der Gerätefunktion: $i'_{\lambda, \text{korrigiert}}(T_{1,2,3}) = C_2(\lambda) [i'_{\lambda, \text{gemessen}}(T_{1,2,3}) + C_1(\lambda)]$

- Konstante C_1 berücksichtigt die Wärmestrahlung, die das Spektrometer selbst emittiert.
- Konstante C_2 umfasst die Anbauteile wie Spiegel, Blenden, Linsen usw.

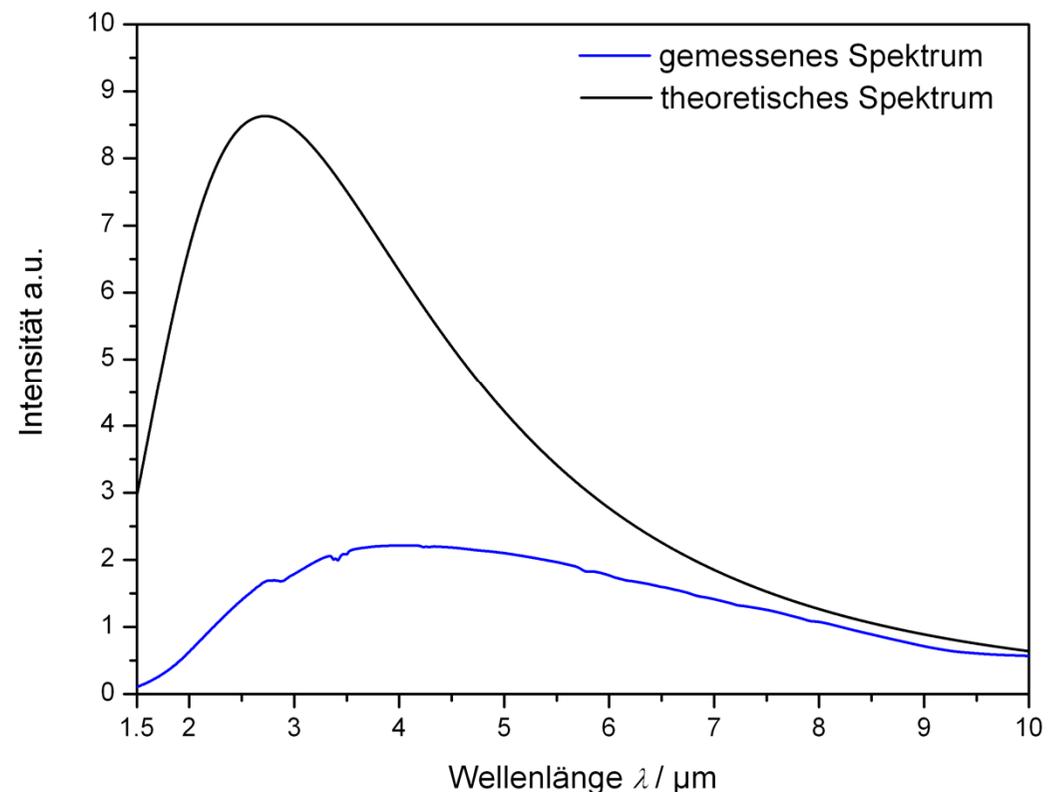
→ Messung von 3 Schwarzkörperspektren.

→ Vergleich mit berechneten Planckkurven:

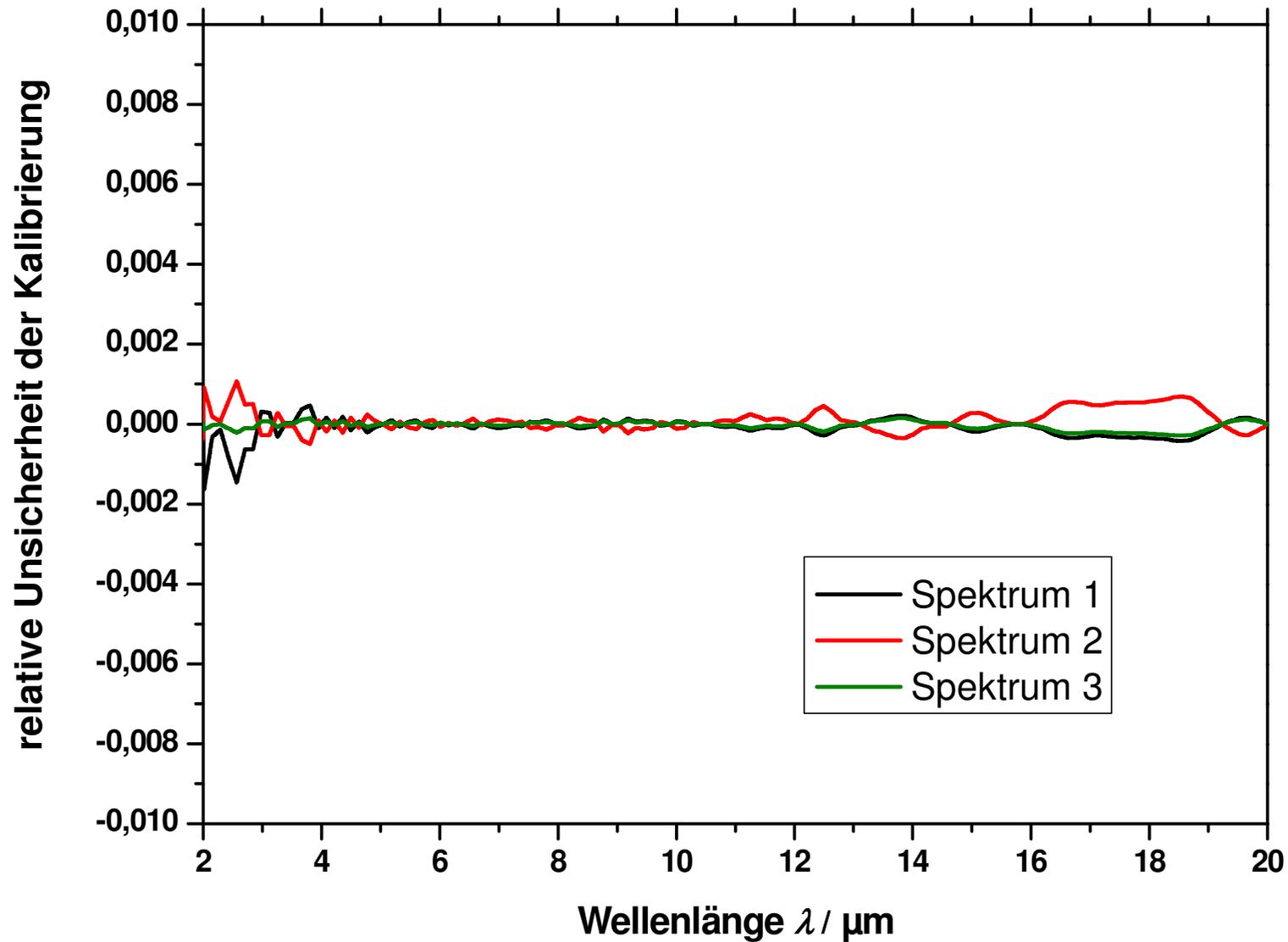
- 3 Gleichungen pro Wellenlänge
- **3N Gleichungen für 2N+3 Variablen**

(N Wellenlängen und 3 Temperaturen)

→ Lösung des linearen Gleichungssystems mittels Least-Square-Methode. Anpassung der gemessenen Spektren an die theoretisch berechneten.



Bestimmung der relativen Unsicherheit der Kalibrierung:



MESSUNGEN - TEMPERATURABHÄNGIG



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Keramikprobe ($\text{TiO}_2 / \text{Y}_2\text{O}_3$):

Zusammensetzung:

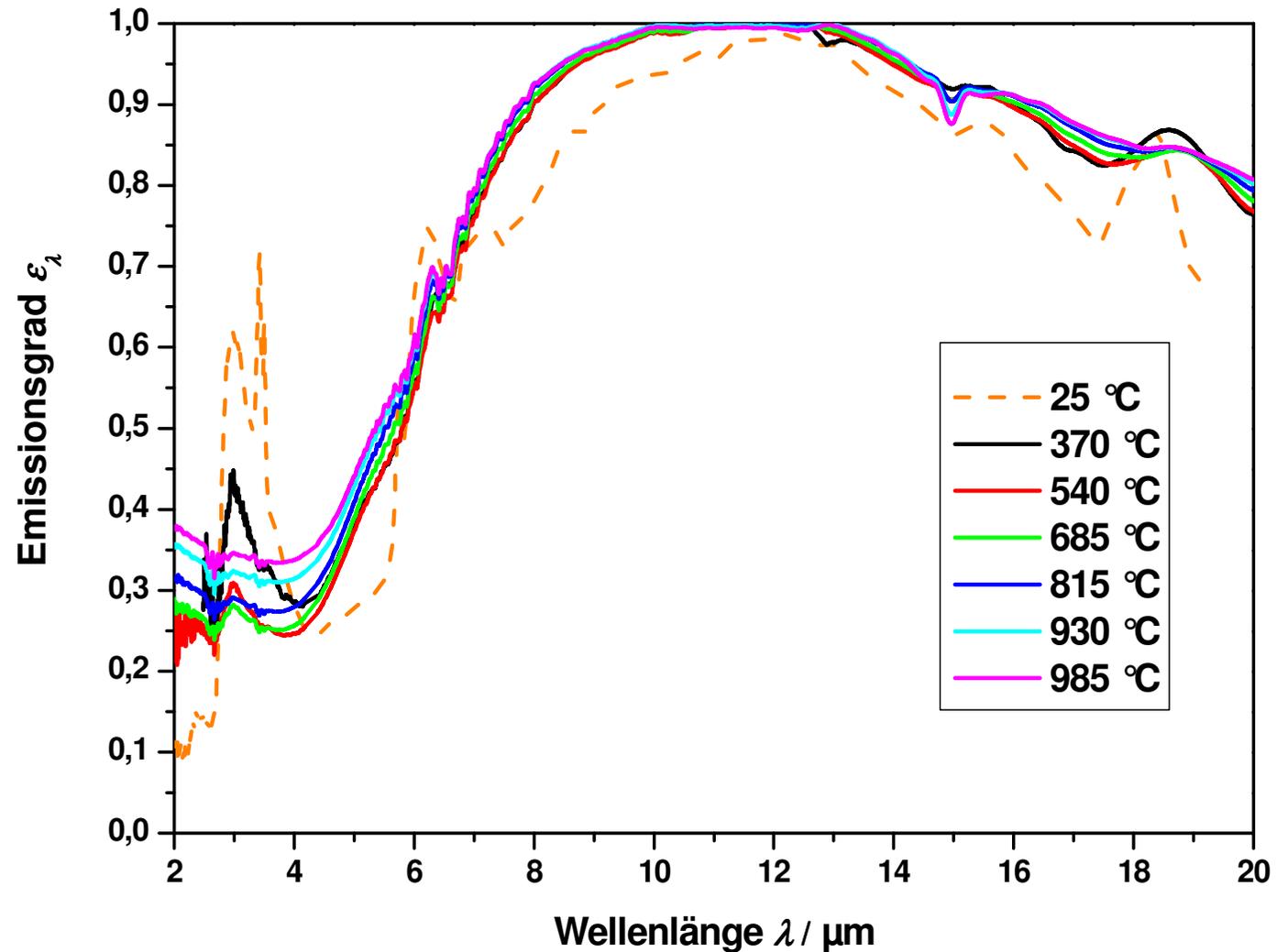
- 78,5 % Yttriumoxid
- 21,5 % Titandioxid

Eigenschaften:

- Probendicke: 3 mm
- Porosität: 45 %

Änderung des spektralen Emissionsgrads über weite Bereiche relativ gering.

Deutliche Absorptionspeaks bei ca. $3 \mu\text{m}$ und $6,3 \mu\text{m}$.



MESSUNGEN - TEMPERATURABHÄNGIG



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Keramikprobe ($\text{TiO}_2 / \text{Y}_2\text{O}_3$):

Zusammensetzung:

- 78,5 % Yttriumoxid
- 21,5 % Titandioxid

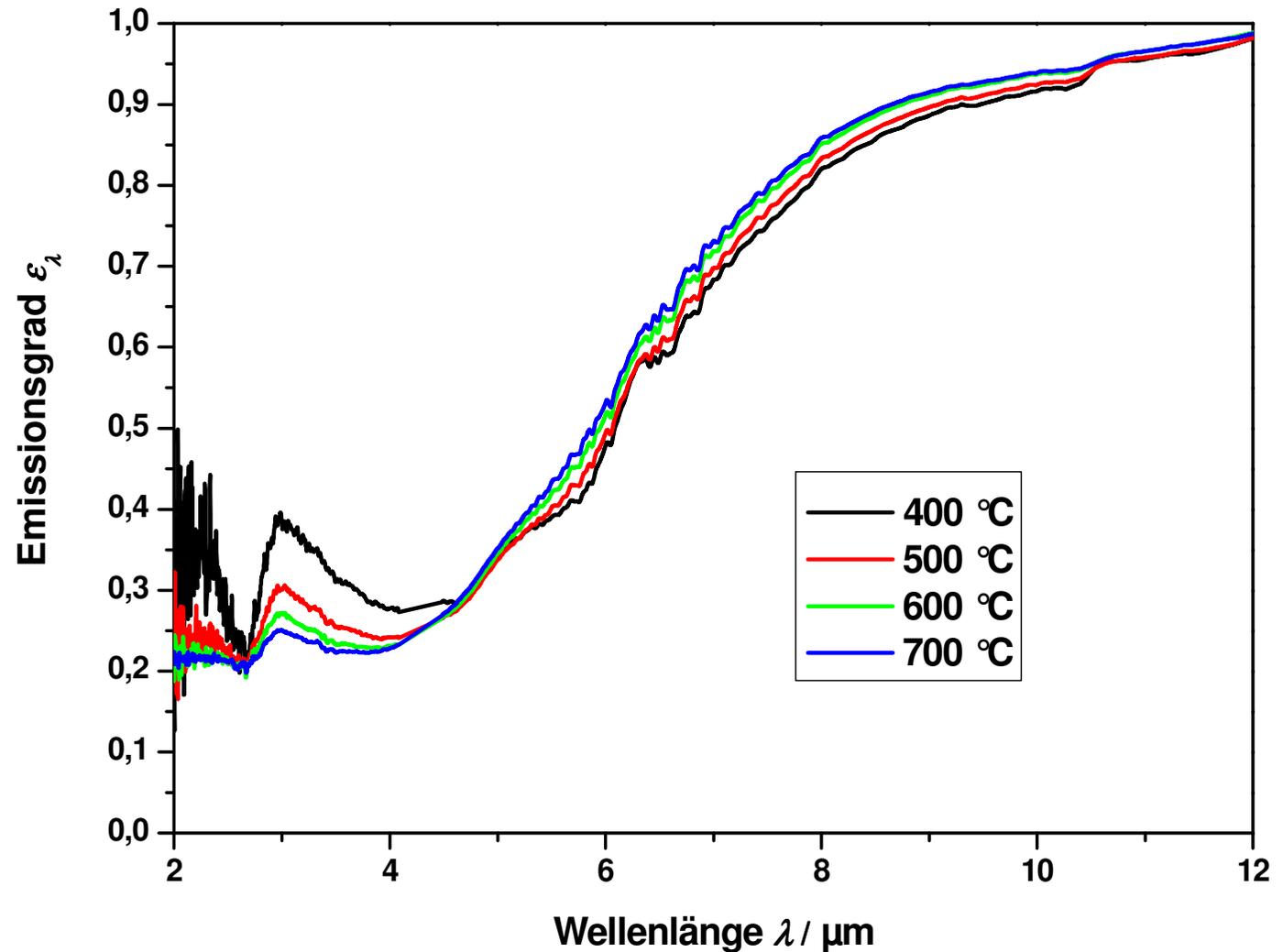
Eigenschaften:

- Probendicke: 3 mm
- Porosität: 45 %

Rückgang der Absorptionspeaks mit steigender Proben-temperatur.

→ Desorption von gebundenem Wasser aus der Probe.

→ Verbleib von gebundenen OH-Gruppen bei höheren Temperaturen auf Grund unterschiedlicher Bindungsenergien.



MESSUNGEN – WINKELABHÄNGIG (NICHTLEITER)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

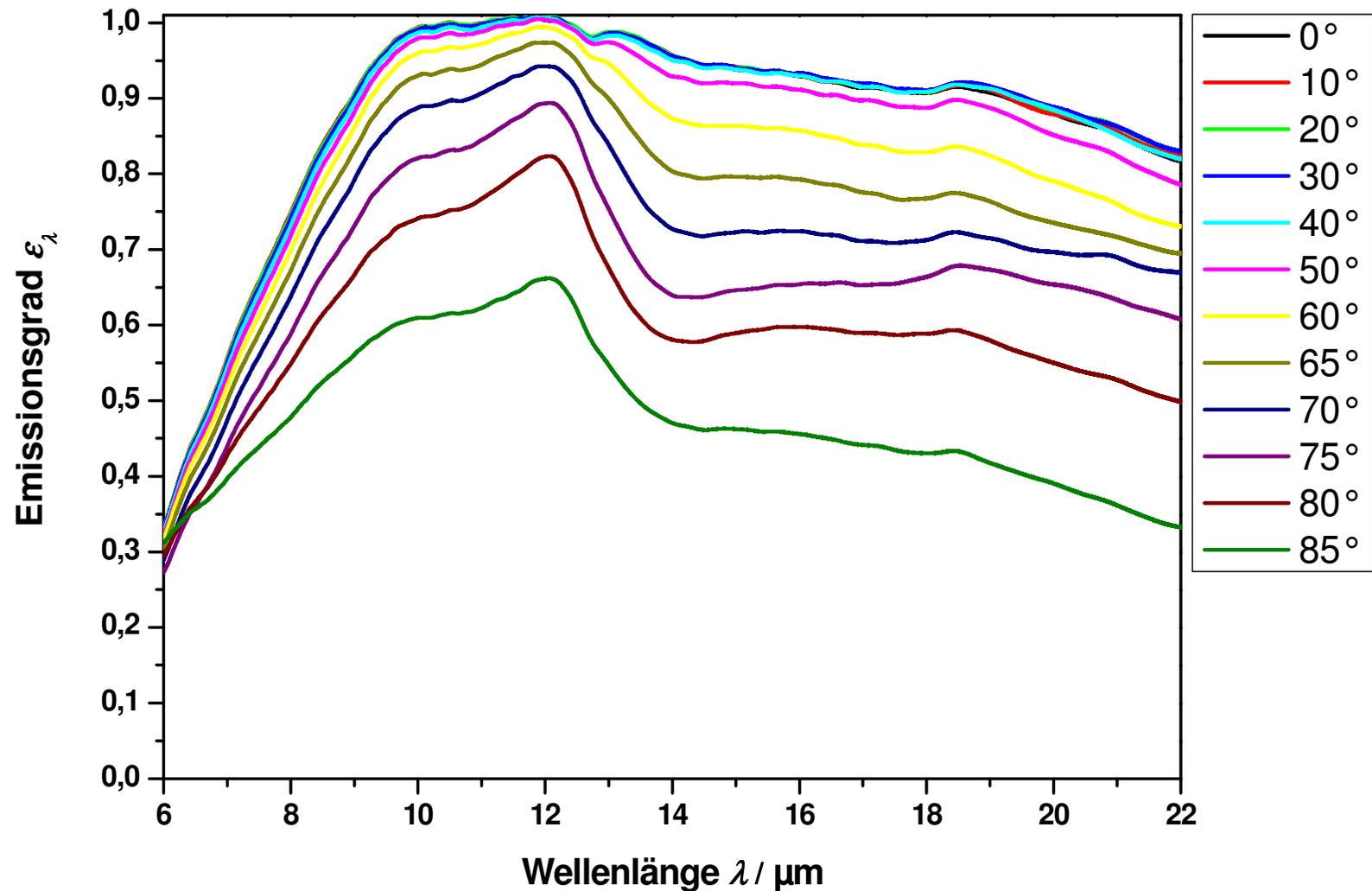
Keramikprobe ($\text{TiO}_2 / \text{Y}_2\text{O}_3$) bei $T = 750^\circ\text{C}$:

Zusammensetzung:

- 60,0 % Yttriumoxid
- 40,0 % Titandioxid

Eigenschaften:

- Probendicke: 2 mm
- Porosität: 50 %



MESSUNGEN – WINKELABHÄNGIG (NICHTLEITER)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

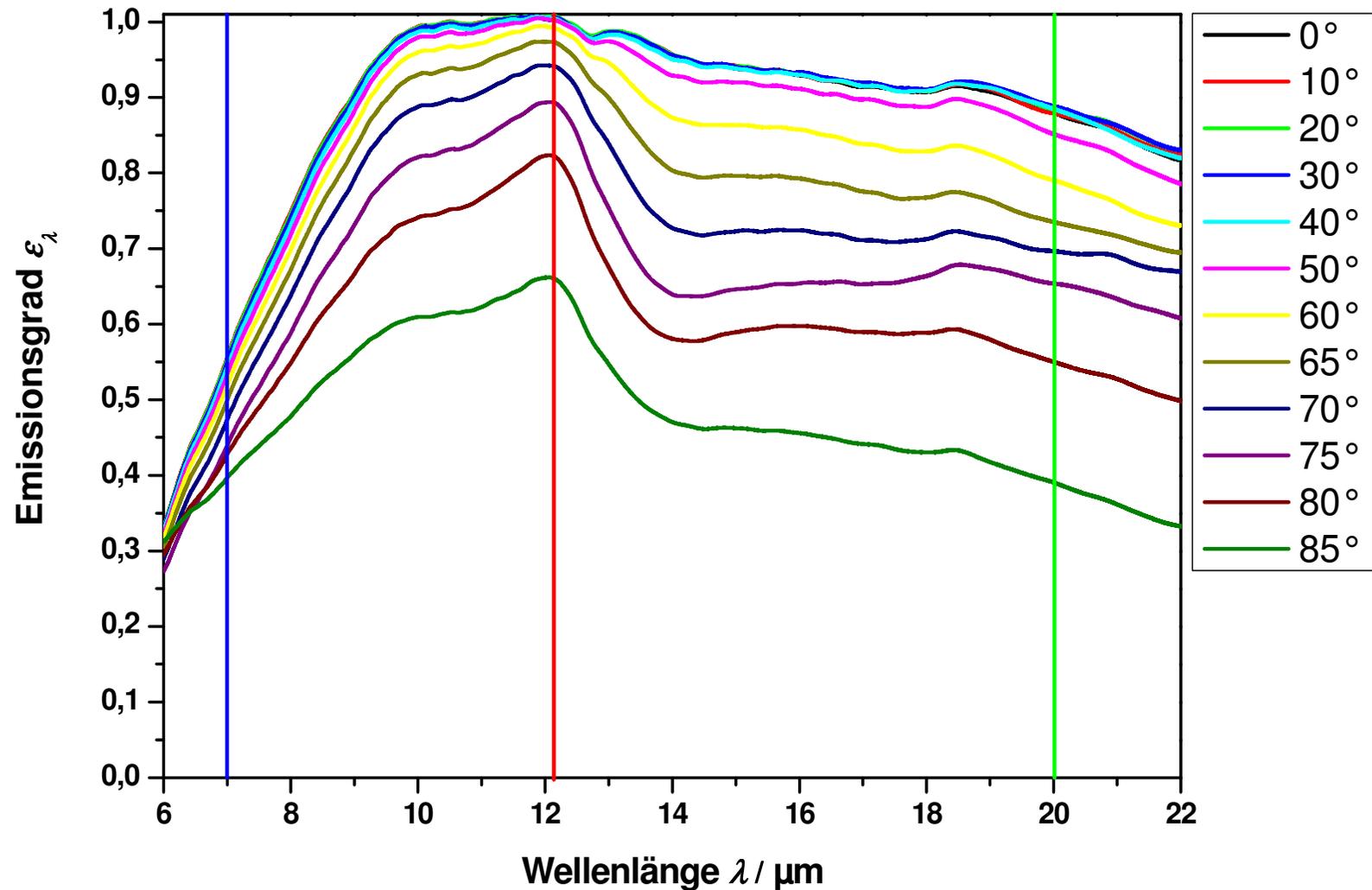
Keramikprobe ($\text{TiO}_2 / \text{Y}_2\text{O}_3$) bei $T = 750^\circ\text{C}$:

Zusammensetzung:

- 60,0 % Yttriumoxid
- 40,0 % Titandioxid

Eigenschaften:

- Probendicke: 2 mm
- Porosität: 50 %



MESSUNGEN – WINKELABHÄNGIG (NICHTLEITER)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

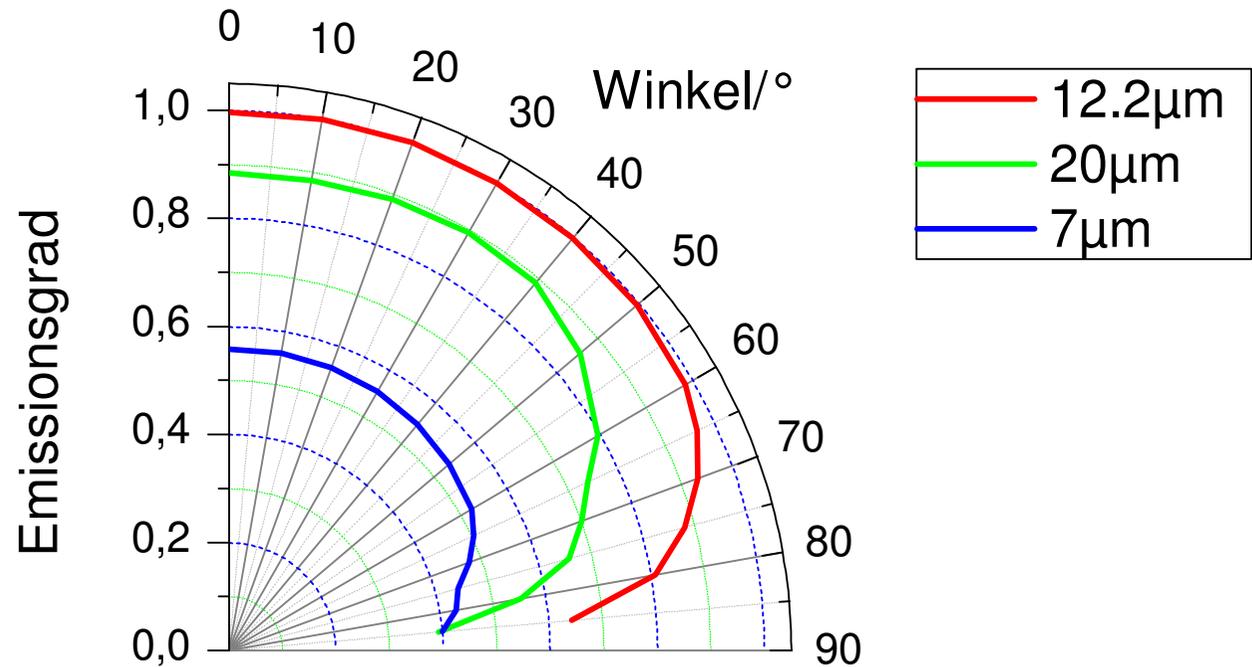
Keramikprobe ($\text{TiO}_2 / \text{Y}_2\text{O}_3$) bei $T = 750^\circ\text{C}$:

Zusammensetzung:

- 60,0 % Yttriumoxid
- 40,0 % Titandioxid

Eigenschaften:

- Probendicke: 2 mm
- Porosität: 50 %



MESSUNGEN – WINKELABHÄNGIG (HALBLEITER / GEMISCHE)



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

V2A-Stahl bei $T = 750\text{ °C}$:

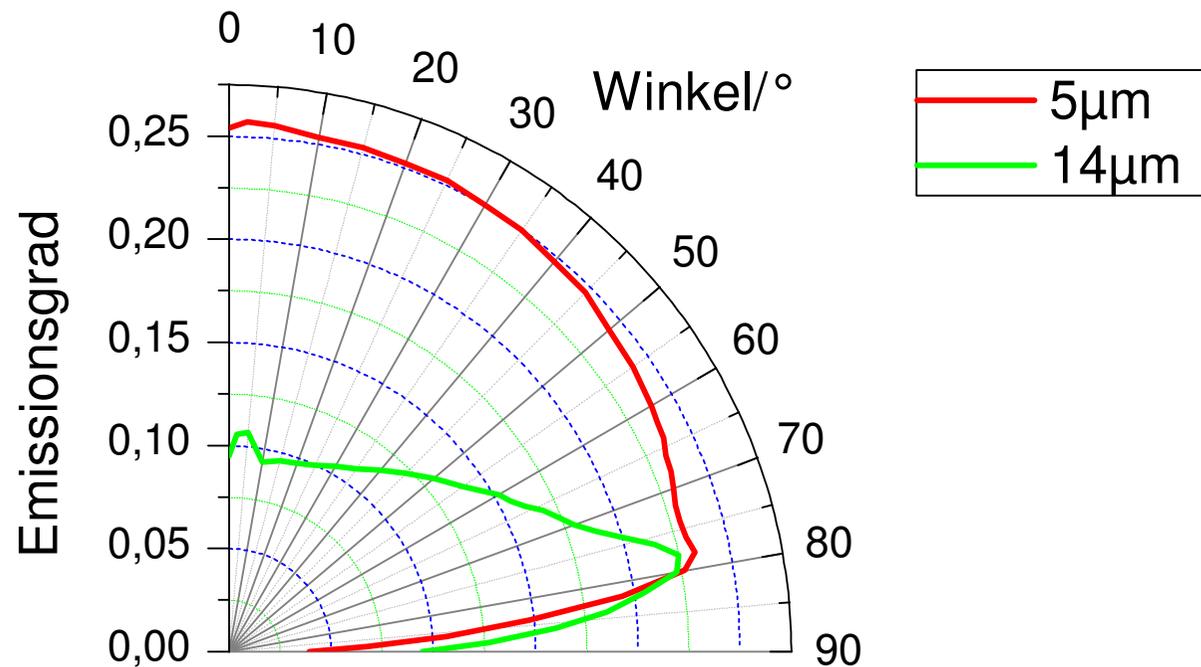
Zusammensetzung:

Rostfreie Edelstahllegierung

- 18,0 % Chromanteil
- 10,0 % Nickelanteil

Eigenschaften:

- Passivschicht an der Oberfläche schützt vor Oxidation



MESSUNGEN – WINKELABHÄNGIG (LEITER)



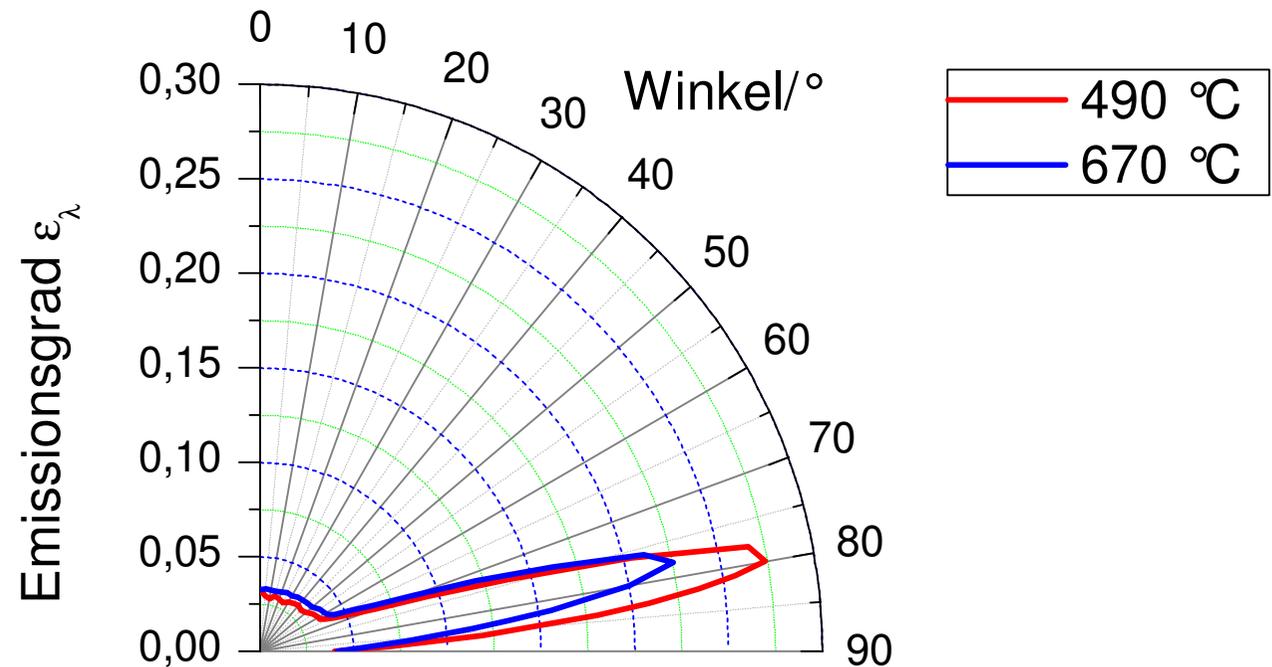
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Kupferprobe bei $\lambda = 5 \mu\text{m}$:

Eigenschaften:

- polierte Kupferoberfläche
- Auf Grund des geringen Emissionsgrades ist die insgesamt abgestrahlte Intensität der Probe sehr niedrig.



ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Zusammenfassung:

- Umfassende Charakterisierung der Proben in einem großen Temperatur- und Winkelbereich möglich.
- Weitgehend automatisierte Messungen mittels PC-Ansteuerung.

Ausblick:

- Erweiterung des zugänglichen Temperaturbereichs auf rund $T = 1400\text{ °C}$.
- Erweiterung des auflösbaren Spektralbereichs.
- Verbesserung der Temperaturbestimmung.

VIELEN DANK

Kontakt: rydzek@zae.uni-wuerzburg.de

MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern • AK-Thermophysik Graz • Matthias Rydzek • 03./04. Mai 2012



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung