

Bayerisches Zentrum für  
Angewandte Energieforschung e.V.

# Bestimmung der Wärmestrahlung keramischer Oberflächen in Gasturbinen zur berührungslosen Temperaturmessung

M. Zipf, M. Lenhart-Rydzek, J.Hartmann, J. Manara

MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

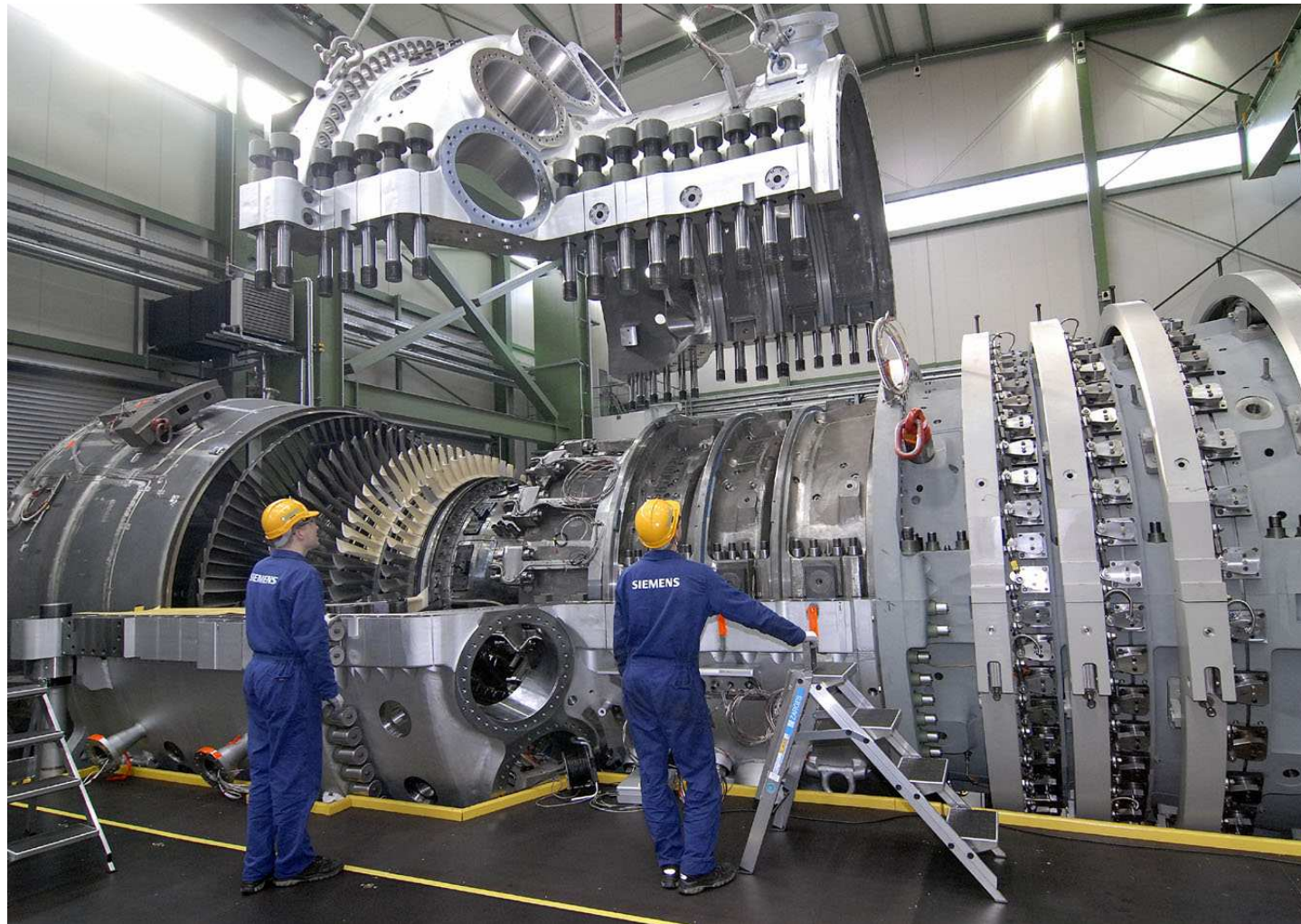


- **Motivation**
- **IR-optische Messverfahren bei hohen Temperaturen**
- **Bisher erzielte Ergebnisse**
- **Zusammenfassung und Ausblick**

# STATIONÄRE GASTURBINE

EU-Projekt  
**STARGATE:**

Sensors  
towards  
advanced  
Monitoring and  
Control of  
Gas Turbine  
Engines



**Ziel:** Exakte Temperaturmessung in stationären Gasturbinen zur Optimierung der Betriebsparameter zur Steigerung des Wirkungsgrades



**ZAE BAYERN**

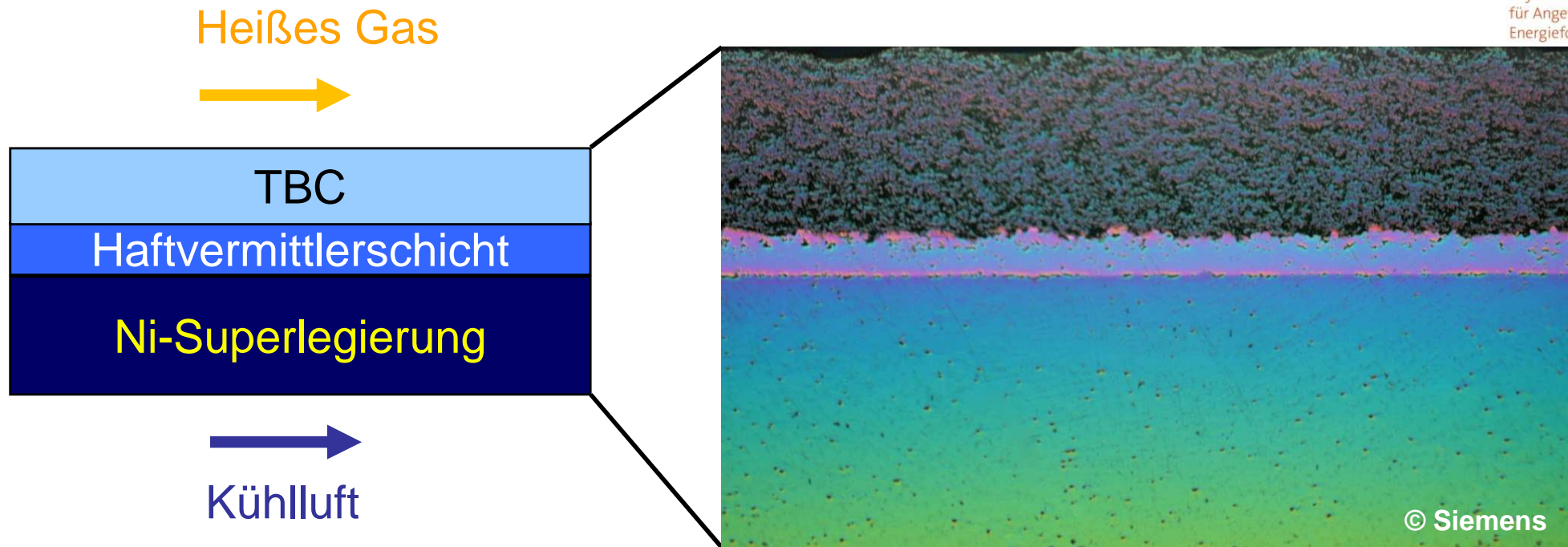
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

# THERMAL BARRIER COATING (TBC)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung





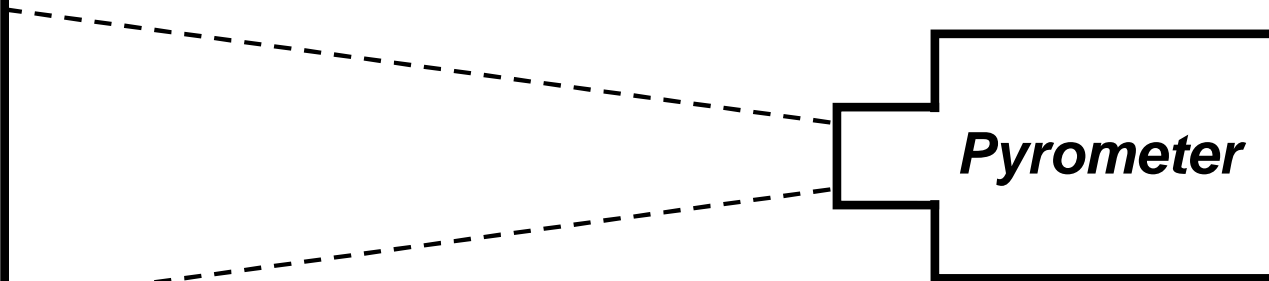
# BERÜHRUNGSLÖSE TEMPERATURMESSUNG



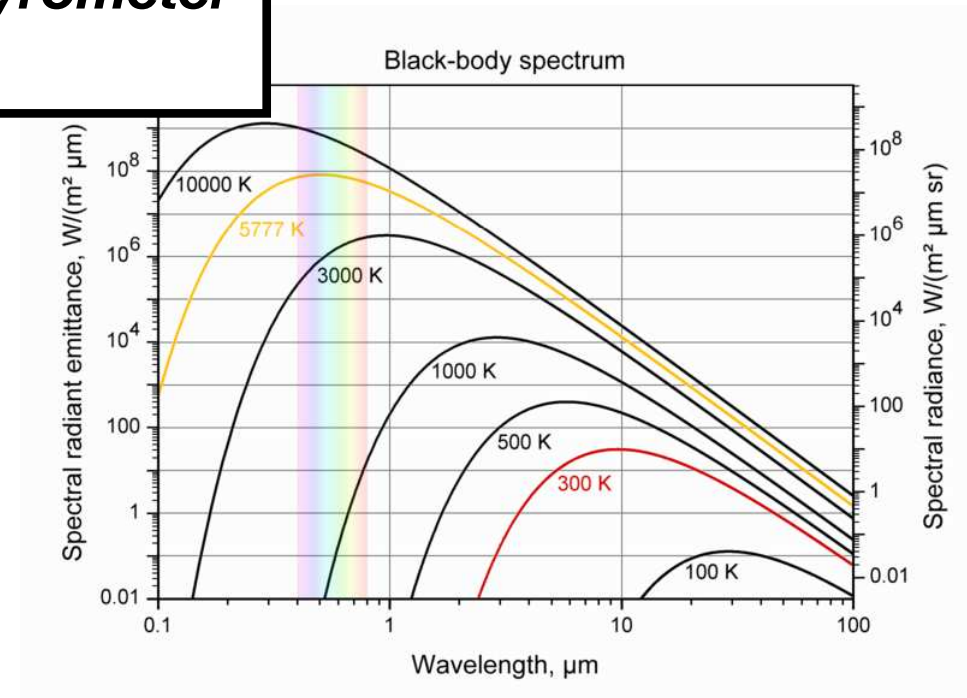
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

$T, \varepsilon$



**Pyrometer**



Emissionsgrad  $\varepsilon$  bekannt  $\rightarrow$

Ermittlung der Temperatur möglich

Temperatur  $T$  bekannt  $\rightarrow$

Ermittlung des Emissionsgrades möglich

# BERÜHRUNGSLOSE TEMPERATURMESSUNG



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

**Bisher: Messung im NIR-Bereich ( $\lambda \sim 1\mu\text{m}$ )**

Problem: Bei TBCs keine Temperaturmessung möglich,  
da semi-transparent

**Daher: Wechsel zum MIR-Bereich ( $\lambda \sim 10\mu\text{m}$ )**

- Messung der Oberflächentemperatur von TBCs möglich,  
da  $\varepsilon \rightarrow 1$
- Verwendung in Turbinen angestrebt

# BLACKBODY BOUNDARY CONDITIONS APPARATUR (BBC)

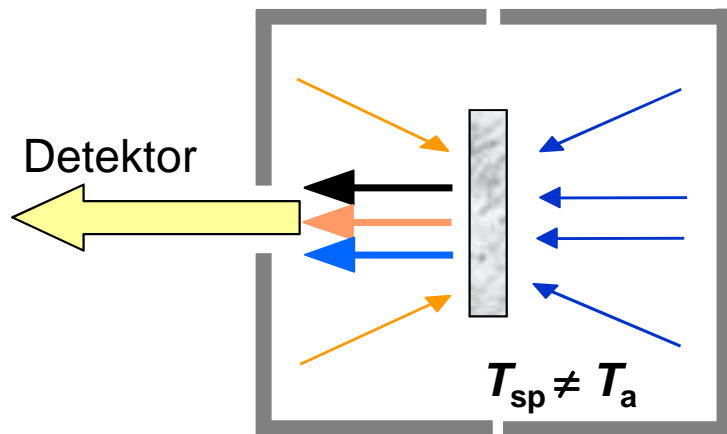


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

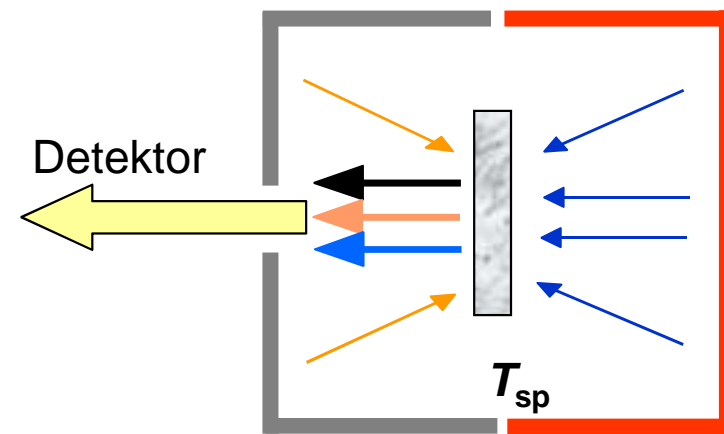
Messung 1

$$T_F = T_R = T_a$$



Messung 2

$$T_F = T_a \quad T_R = T_2$$



$$(1) \quad i_{\text{meas } 1}(T_{\text{sp}}, T_a) = \underbrace{\varepsilon(T_{\text{sp}}) \cdot I_{\text{bb}}(T_{\text{sp}})}_{\text{Emission}} + \underbrace{\rho(T_{\text{sp}}) \cdot I_{\text{bb}}(T_a)}_{\text{Reflexion}} + \underbrace{\tau(T_{\text{sp}}) \cdot I_{\text{bb}}(T_a)}_{\text{Transmission}}$$

$$(2) \quad i_{\text{meas } 2}(T_{\text{sp}}, T_a, T_2) = \underbrace{\varepsilon(T_{\text{sp}}) \cdot I_{\text{bb}}(T_{\text{sp}})}_{\text{Emission}} + \underbrace{\rho(T_{\text{sp}}) \cdot I_{\text{bb}}(T_a)}_{\text{Reflexion}} + \underbrace{\tau(T_{\text{sp}}) \cdot I_{\text{bb}}(T_2)}_{\text{Transmission}}$$

# BBLACKBODY BOUNDARY CONDITIONS APPARATUR (BBC)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

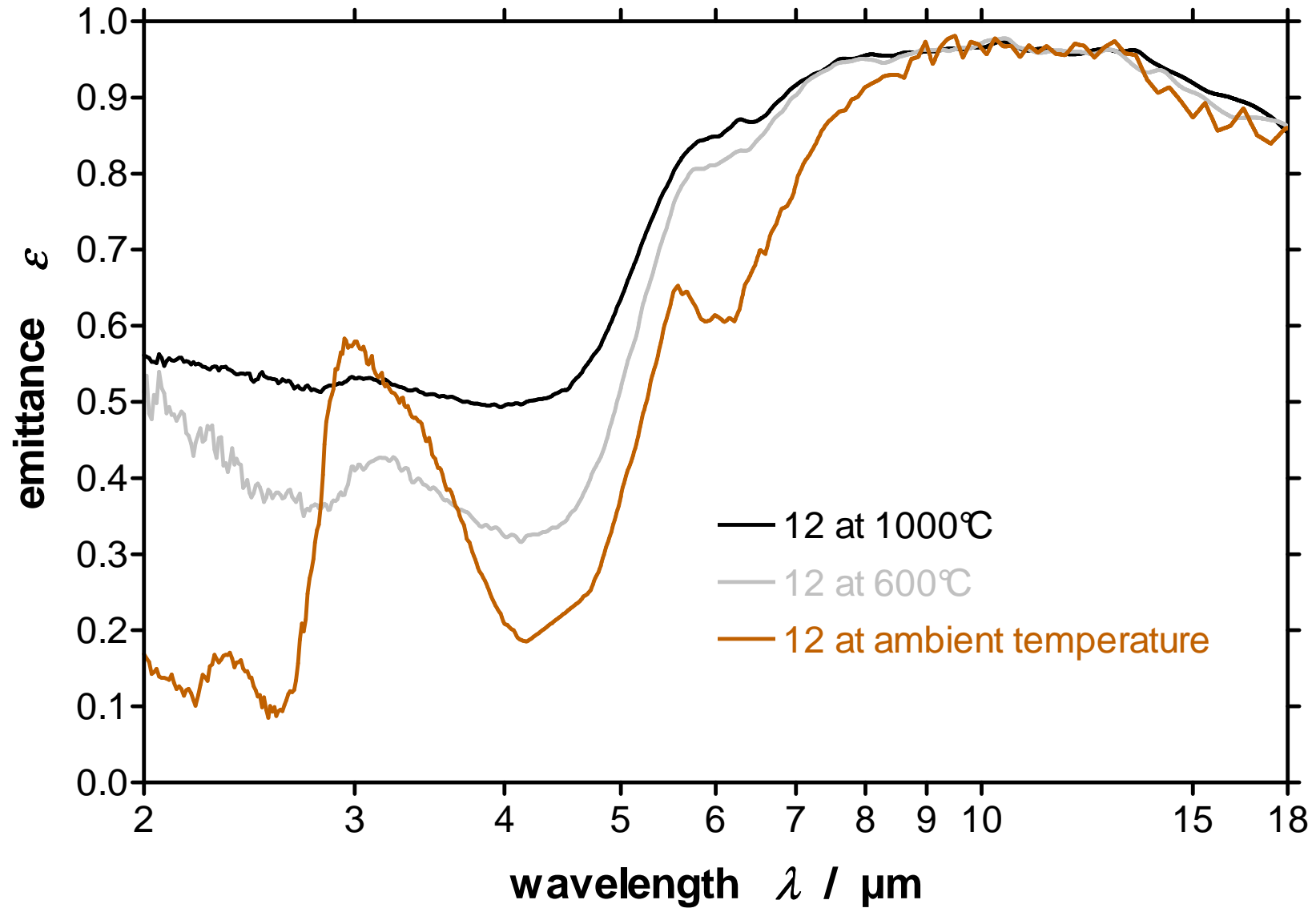




# EMISSIONSGRAD EINER FREISTEHENDEN TBC



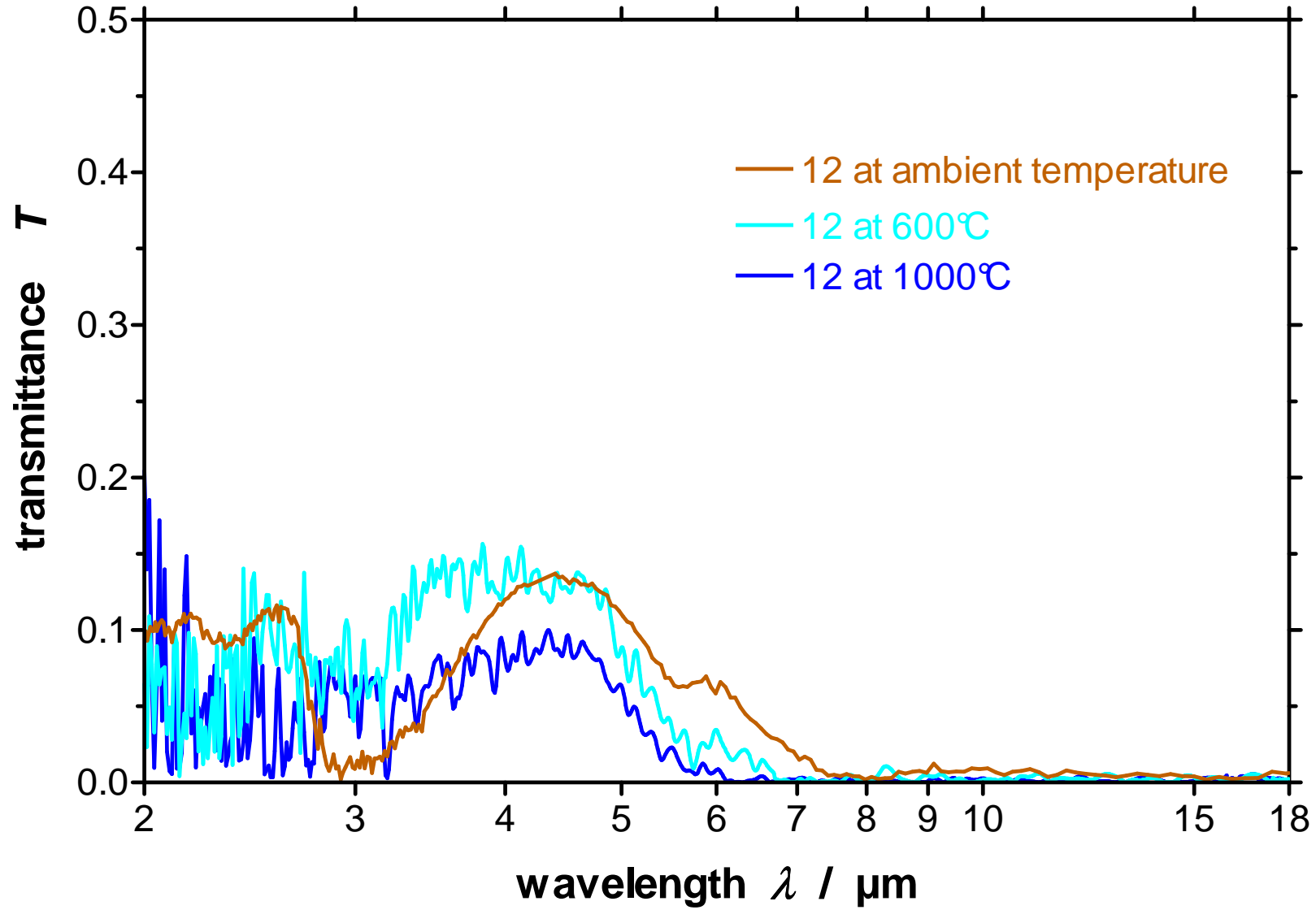
**ZAE BAYERN**  
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



# TRANSMISSIONSGRAD EINER FREISTEHENDEN TBC



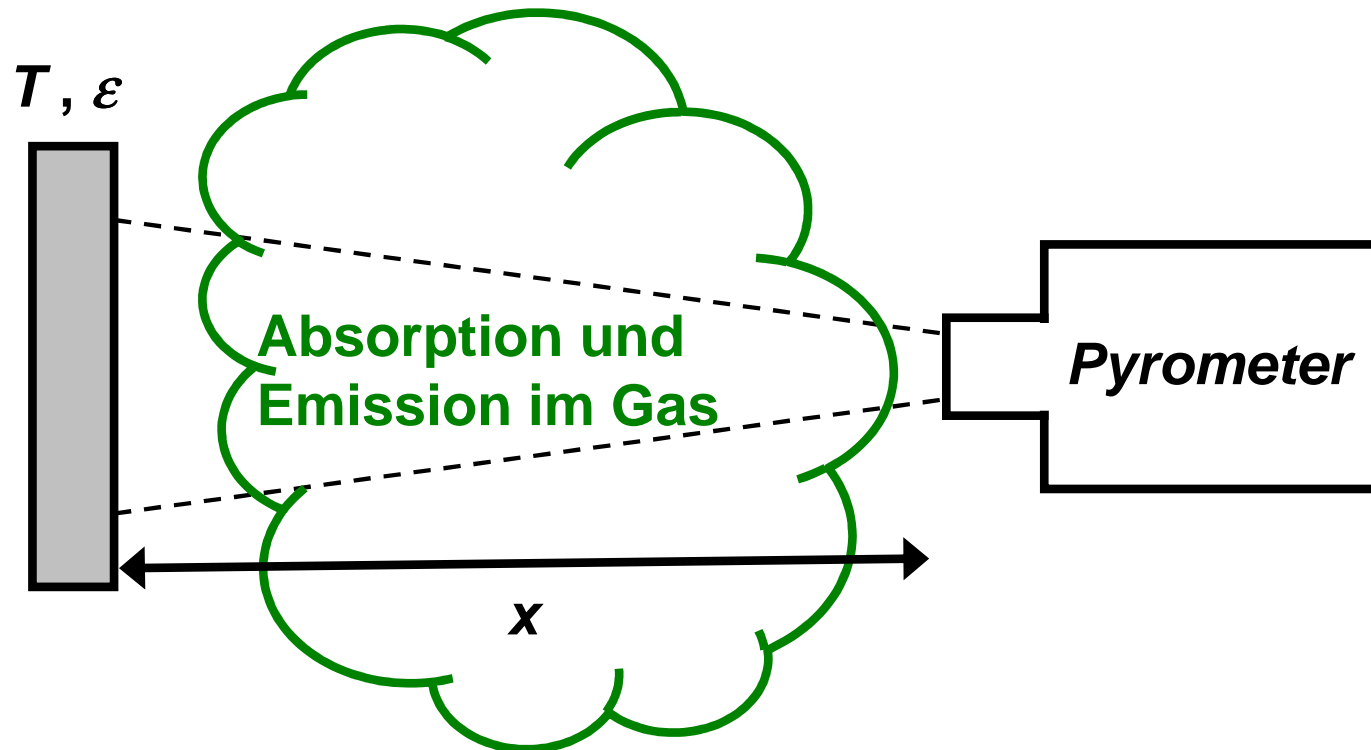
ZAE BAYERN  
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



# BERÜHRUNGSLÖSE TEMPERATURMESSUNG



ZAE BAYERN  
Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



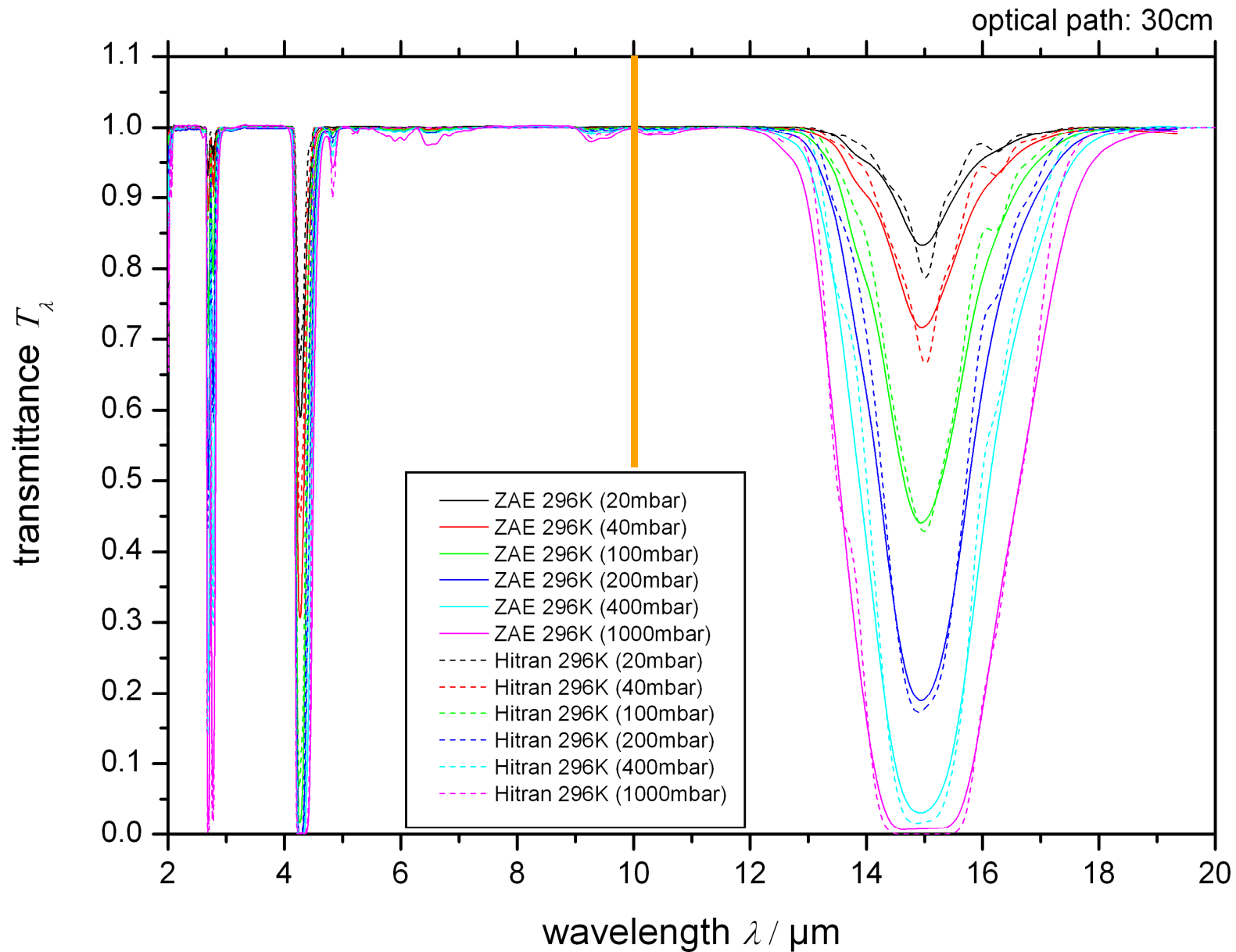
$$i_{\text{meas}}(T) = i_{\text{surface}}(T, T_{\text{gas}}, T_a, \varepsilon, X) \cdot \tau_{\text{gas}}(T_{\text{gas}}, X) + \varepsilon_{\text{gas}}(T_{\text{gas}}, X) \cdot i_{\text{bb}}(T_{\text{gas}})$$

# TRANSMISSION VON KOHLENSTOFFDIOXID (CO<sub>2</sub>)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung



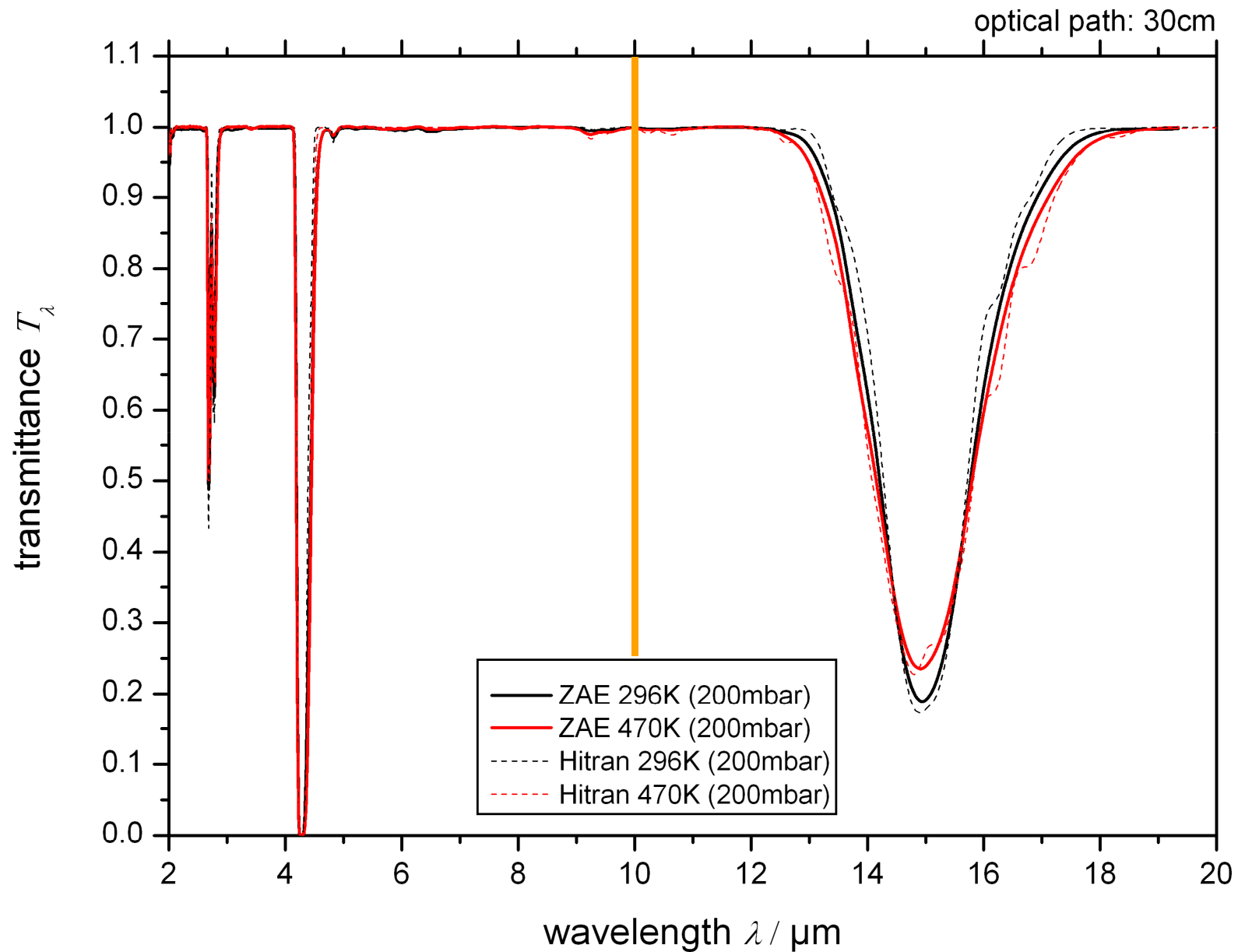


# TRANSMISSION VON KOHLENSTOFFDIOXID (CO<sub>2</sub>)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung

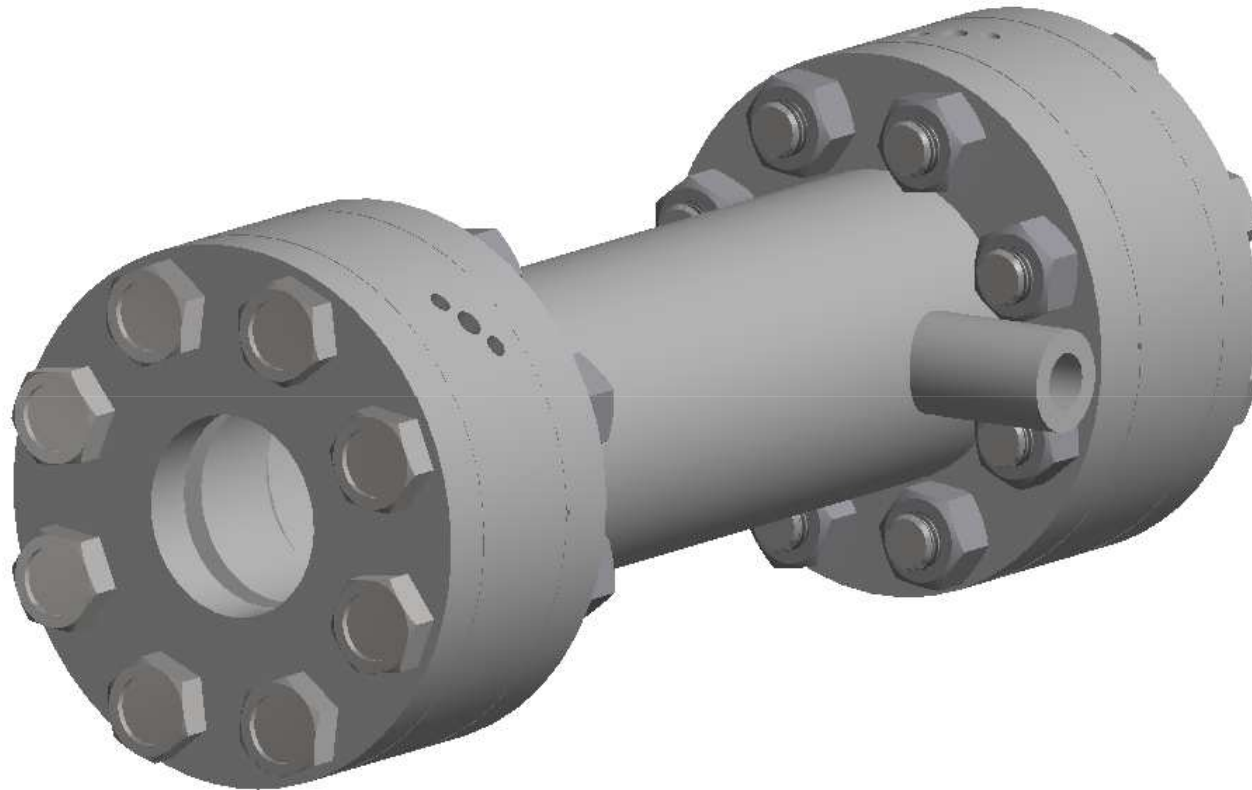


# ENTWICKLUNG GASTRANSMISSIONSMESSZELLE



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung





## **Messaufbauten zur Bestimmung IR-optischer Eigenschaften**

- Blackbody Boundary Conditions Apparatur (BBC)
- Aufbau zur Ermittlung von Heiß-Gas Einflüssen

## **Berührungslose Messung bei hohen Temperaturen**

- Messung von opaken Proben im NIR-Bereich
- Nutzung MIR-Bereich für im NIR-Bereich teiltransparente Proben

## **Weiterentwicklung der Messapparaturen**

- Entwicklung Gastransmissionsmesszelle für hohe Temperaturen
- Erweiterung des Temperaturbereichs der BBC-Anlage

# Danke

MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern



**ZAE BAYERN**

Bayerisches Zentrum  
für Angewandte  
Energieforschung