

Bayerisches Zentrum für
Angewandte Energieforschung e.V.

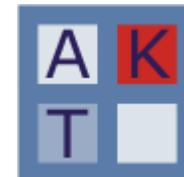
Bestimmung der zum Betrieb von Gasturbinen notwendigen infrarot-optischen Kenngrößen bei hohen Temperaturen und Drücken

J. Manara, M. Zipf, T. Stark,
M. Arduini-Schuster, J. Hartmann, H.-P. Ebert

MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern

Jahrestagung 2015 des
Arbeitskreises Thermophysik
Aachen, 09.-10. März 2015



- **Motivation**
 - EU-Projekt STARGATE
 - Strahlungsthermometrie im LWIR
- **Infrarot-optische Charakterisierungen**
 - Charakterisierung der Wärmedämmschichten
 - Charakterisierung der Verbrennungsgase
 - Berührungslose Temperaturmessung
- **Zusammenfassung**
 - Verwendete Charakterisierungsverfahren
 - Optimaler Wellenlängenbereich

MOTIVATION



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

STARGATE:

Sensors towards advanced Monitoring and Control of Gas Turbine Engines

Ziel:

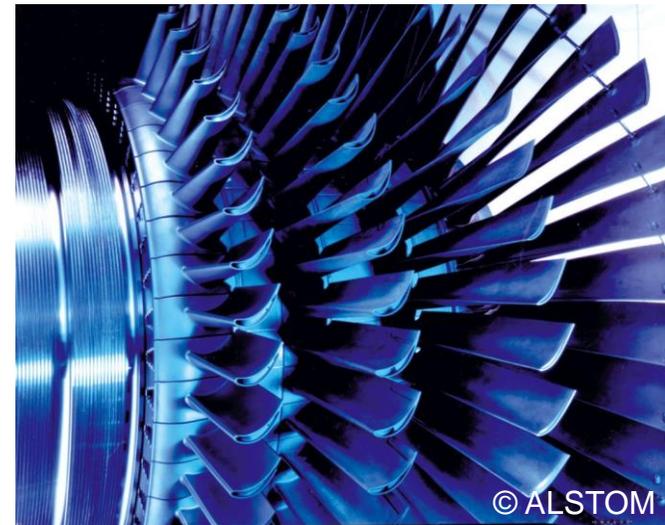
Entwicklung verbesserter Messsensorik zur Steigerung der Energieeffizienz in Gasturbinen.

Temperaturmessung:

Berührungslose Temperaturmessung zur Optimierung der Prozessparameter.

Thermischer Wirkungsgrad:

$$\eta_{\text{th, Brayton}} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$



STATIONÄRE HEIßGASTURBINEN



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



© Siemens

1. Erhöhung der Temperatur

Einsatz keramischer Wärmedämmschichten (TBCs) zur Erhöhung der Betriebstemperatur.

2. Exakte Bestimmung der Temperatur

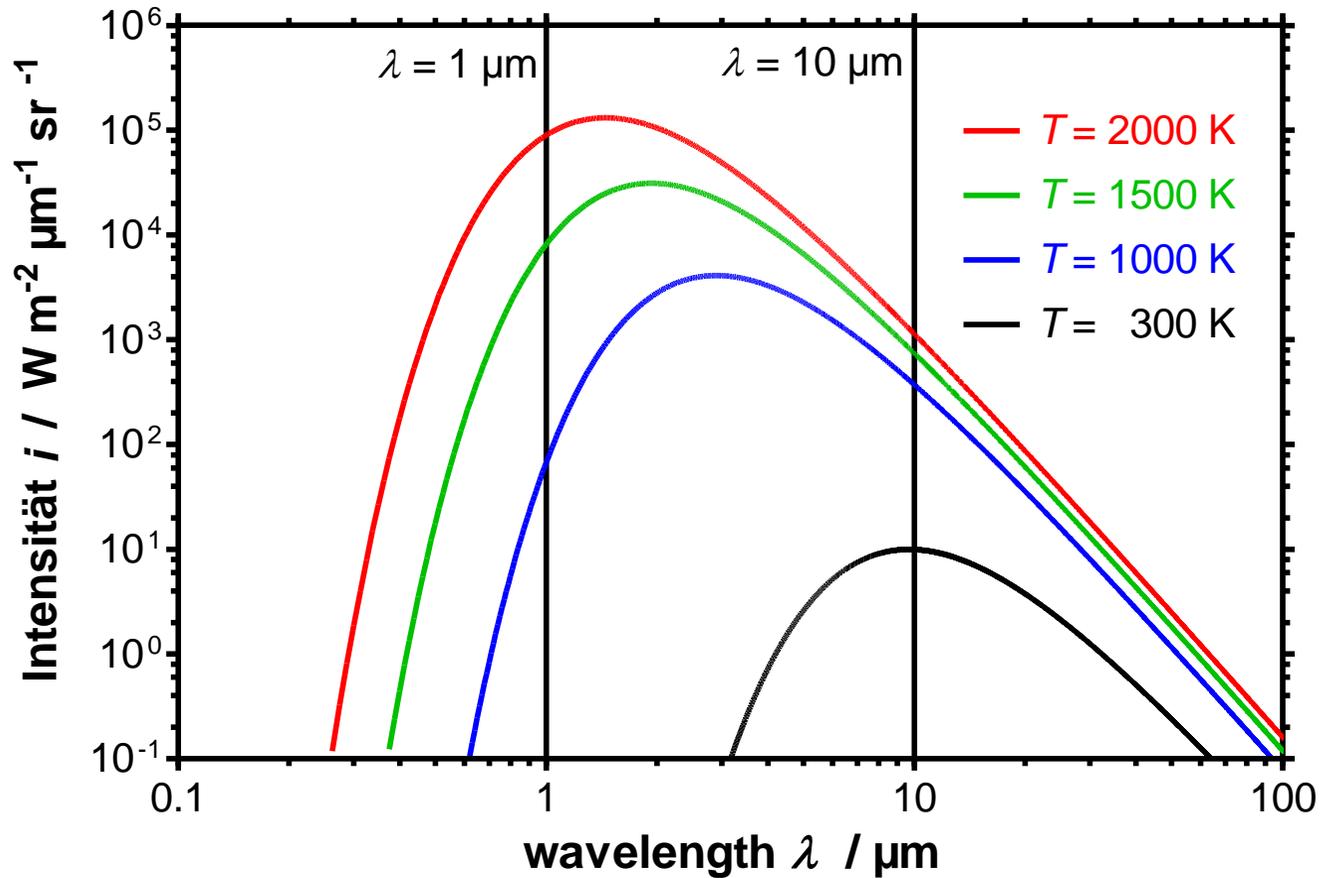
Messunsicherheit von 10 K

⇒ Erhöhung des Energieverbrauchs
um 0.2 %

WÄRMEABSTRAHLUNG EINES SCHWARZEN STRAHLERS



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



Relevante Wellenlängenbereiche

hohe Temperaturen:
NIR ($\sim 1 \mu\text{m}$)

Raumtemperatur:
LWIR ($\sim 10 \mu\text{m}$)

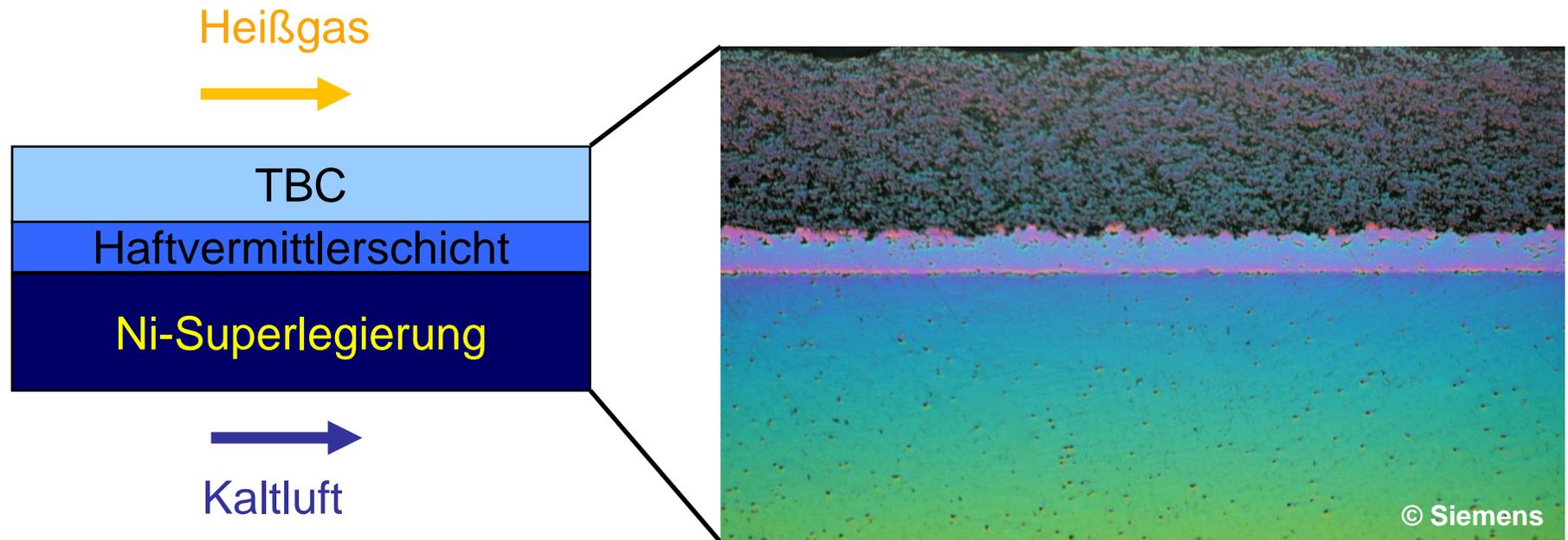
Problem:
TBCs sind
semi-transparent
in NIR

KERAMISCHE WÄRMEDÄMMSCHICHTEN (THERMAL BARRIER COATINGS)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



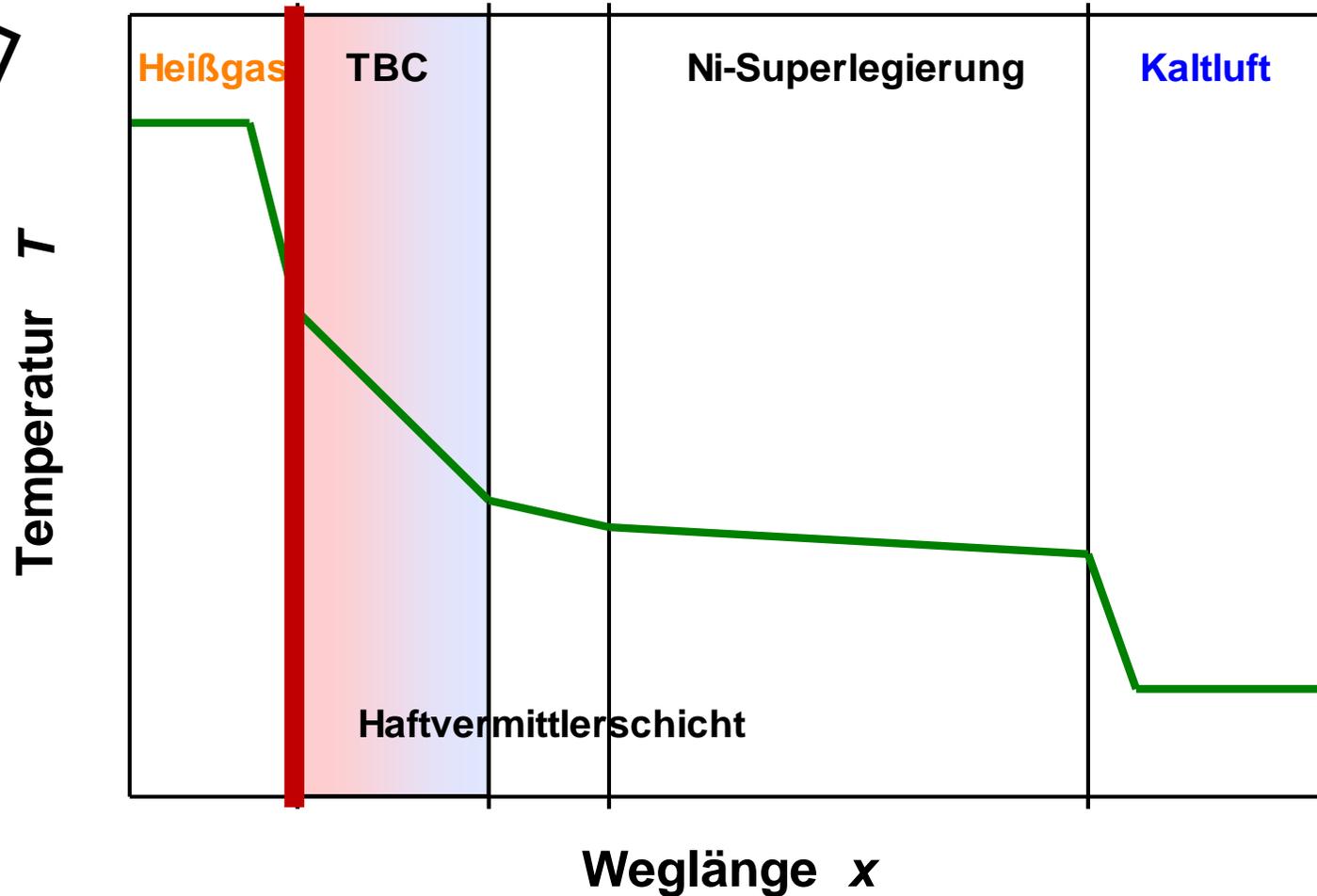
WÄRMEDURCHGANG DURCH EINE WÄRMEDÄMMSCHICHT (TBC)



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Pyrometer

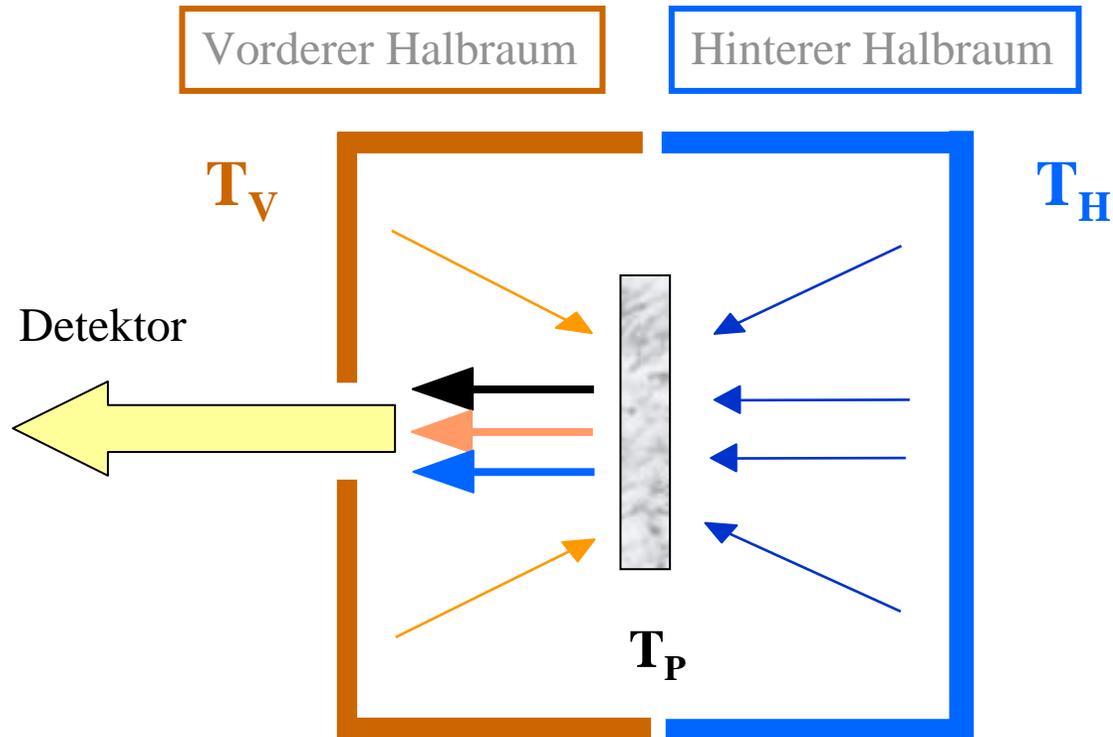
Temperaturprofil



BLACKBODY BOUNDARY CONDITIONS APPARATUR (BBC)



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



Emission

Reflexion

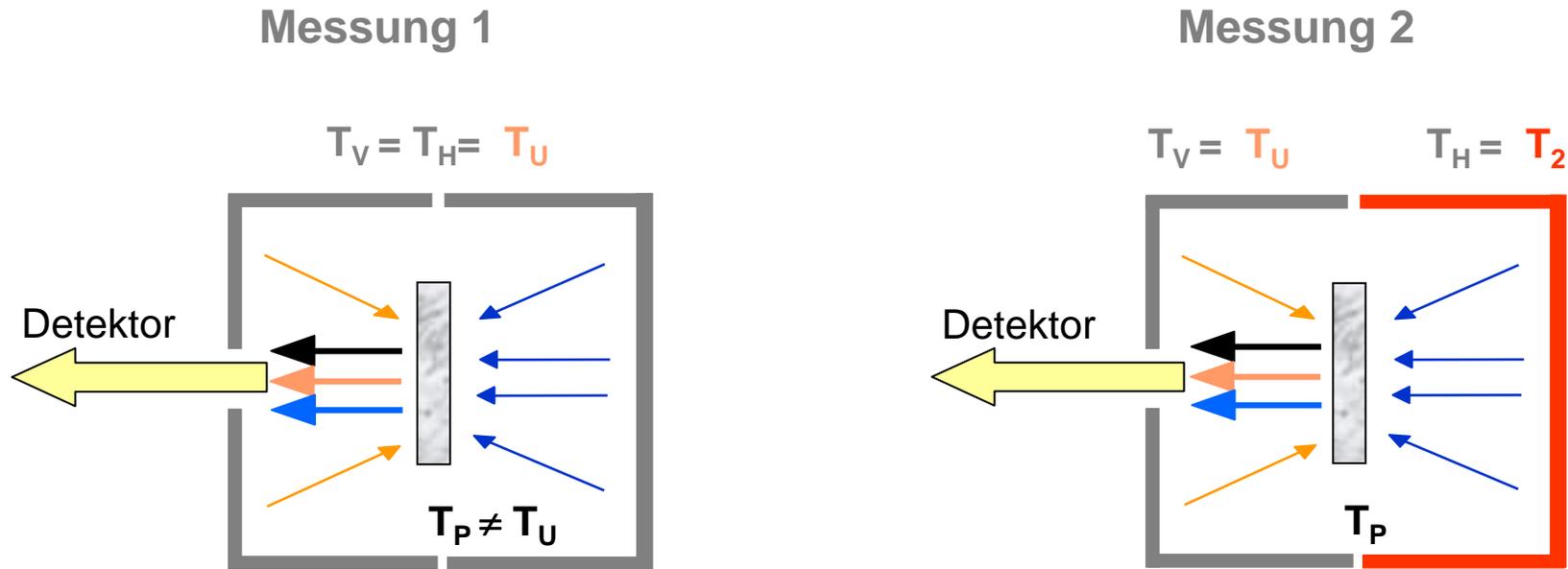
Transmission

$$i_{\text{Messung}}(T_P, T_V, T_H) = \overbrace{\varepsilon(T_P) \cdot I_S(T_P)}^{\text{Emission}} + \overbrace{\rho(T_P) \cdot I_S(T_V)}^{\text{Reflexion}} + \overbrace{\tau(T_P) \cdot I_S(T_H)}^{\text{Transmission}}$$

BLACKBODY BOUNDARY CONDITIONS APPARATUR (BBC)



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



$$(1) \quad i_{\text{Messung 1}}(T_P, T_U) = \underbrace{\varepsilon(T_P) \cdot I_S(T_P)}_{\text{Emission}} + \underbrace{\rho(T_P) \cdot I_S(T_U)}_{\text{Reflexion}} + \underbrace{\tau(T_P) \cdot I_S(T_U)}_{\text{Transmission}}$$

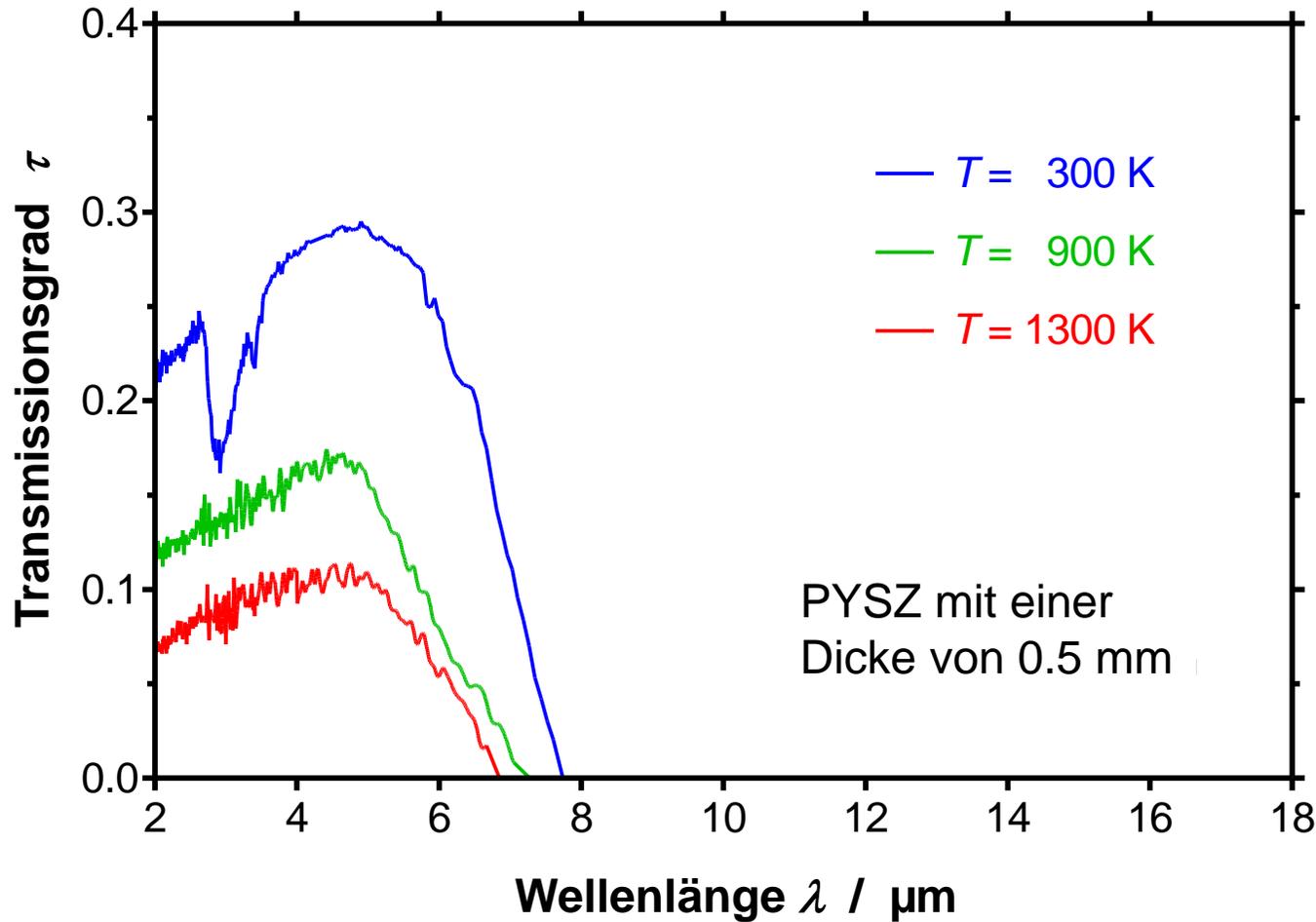
$$(2) \quad i_{\text{Messung 2}}(T_P, T_U, T_2) = \underbrace{\varepsilon(T_P) \cdot I_S(T_P)}_{\text{Emission}} + \underbrace{\rho(T_P) \cdot I_S(T_U)}_{\text{Reflexion}} + \underbrace{\tau(T_P) \cdot I_S(T_2)}_{\text{Transmission}}$$

TRANSMISSIONSGRAD VON TEILSTABILISIERTEM ZIRKONOXID (PYSZ)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

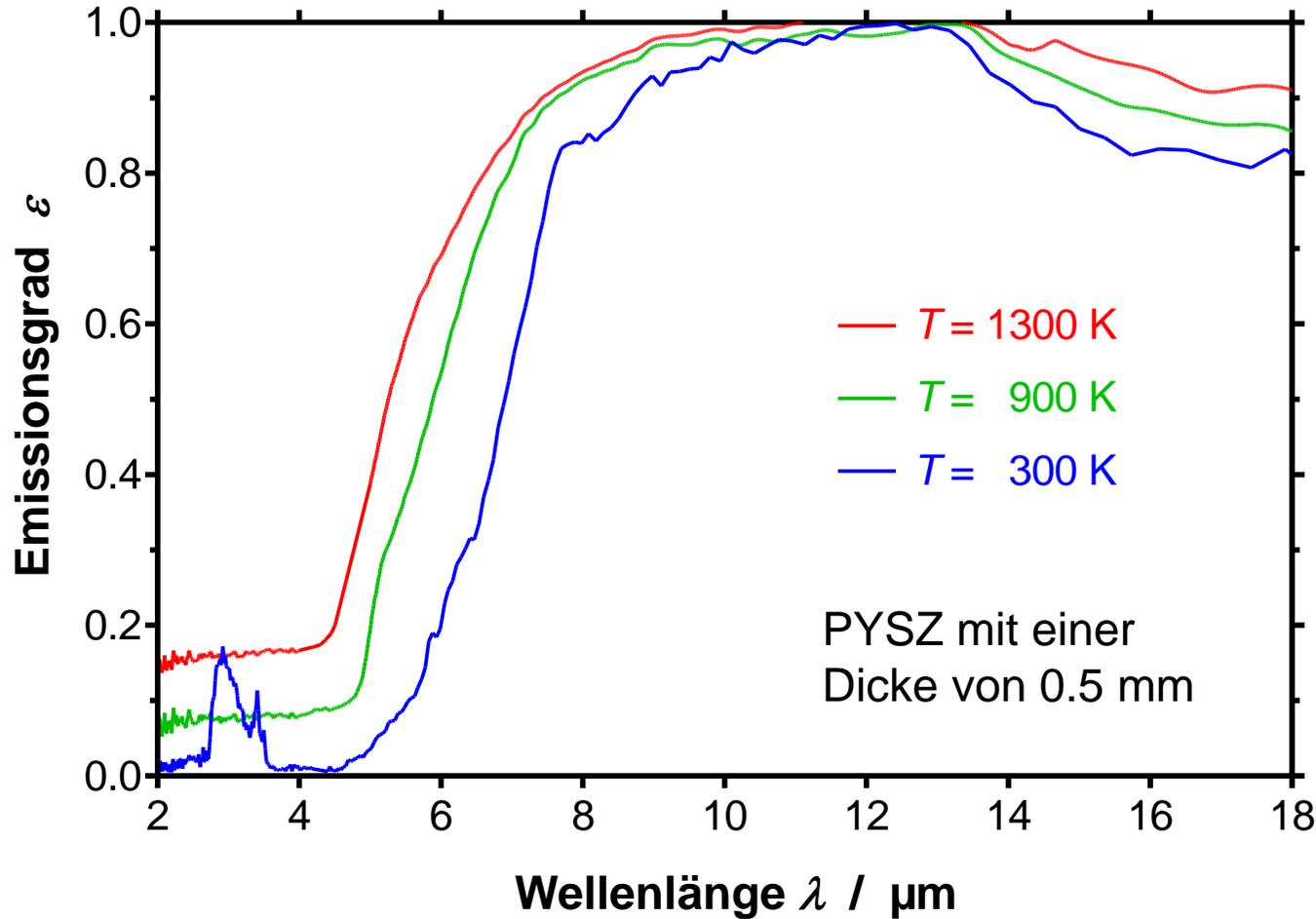


semi-transparent
bei Wellenlängen
bis ca. 8 μm

EMISSIONSGRAD VON TEILSTABILISIERTEM ZIRKONOXID (PYSZ)



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



hoher Emissionsgrad
im LWIR

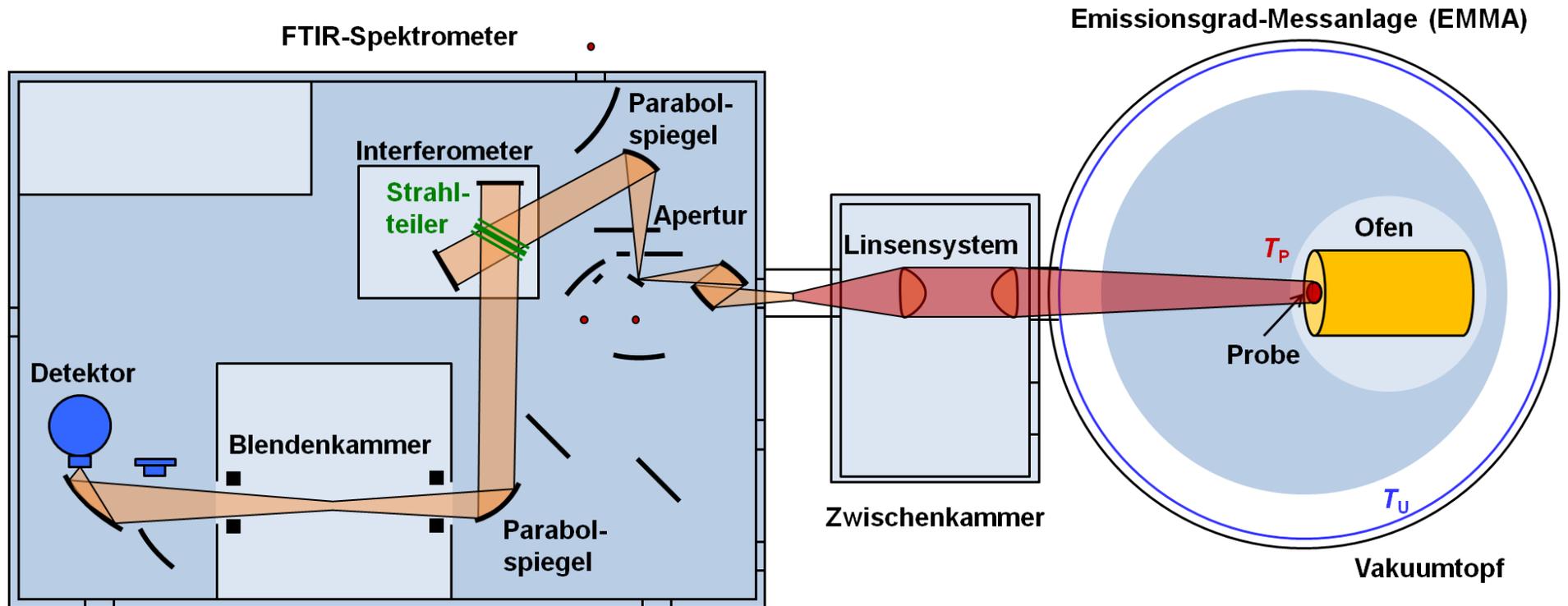
Christiansen
Wellenlänge
bei 13 μm

EMISSIONSGRADMESSANLAGE (EMMA)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

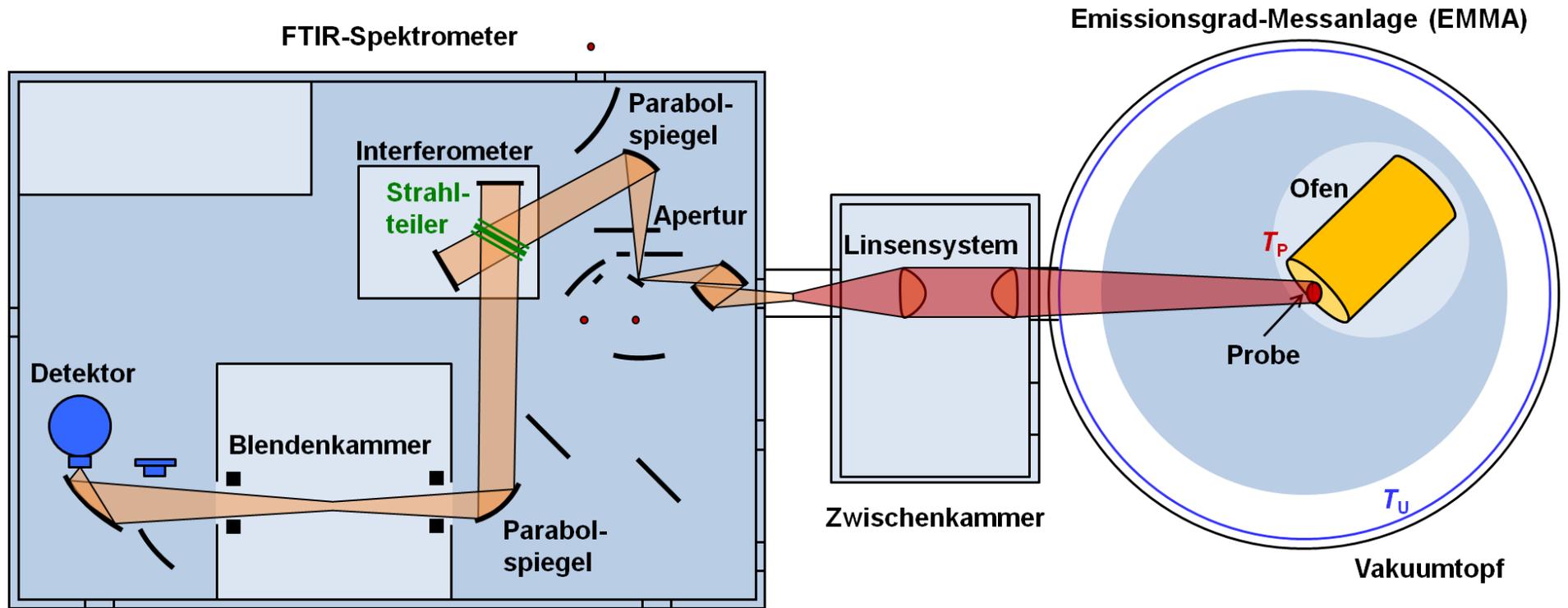


EMISSIONSGRADMESSANLAGE (EMMA)



ZAE BAYERN

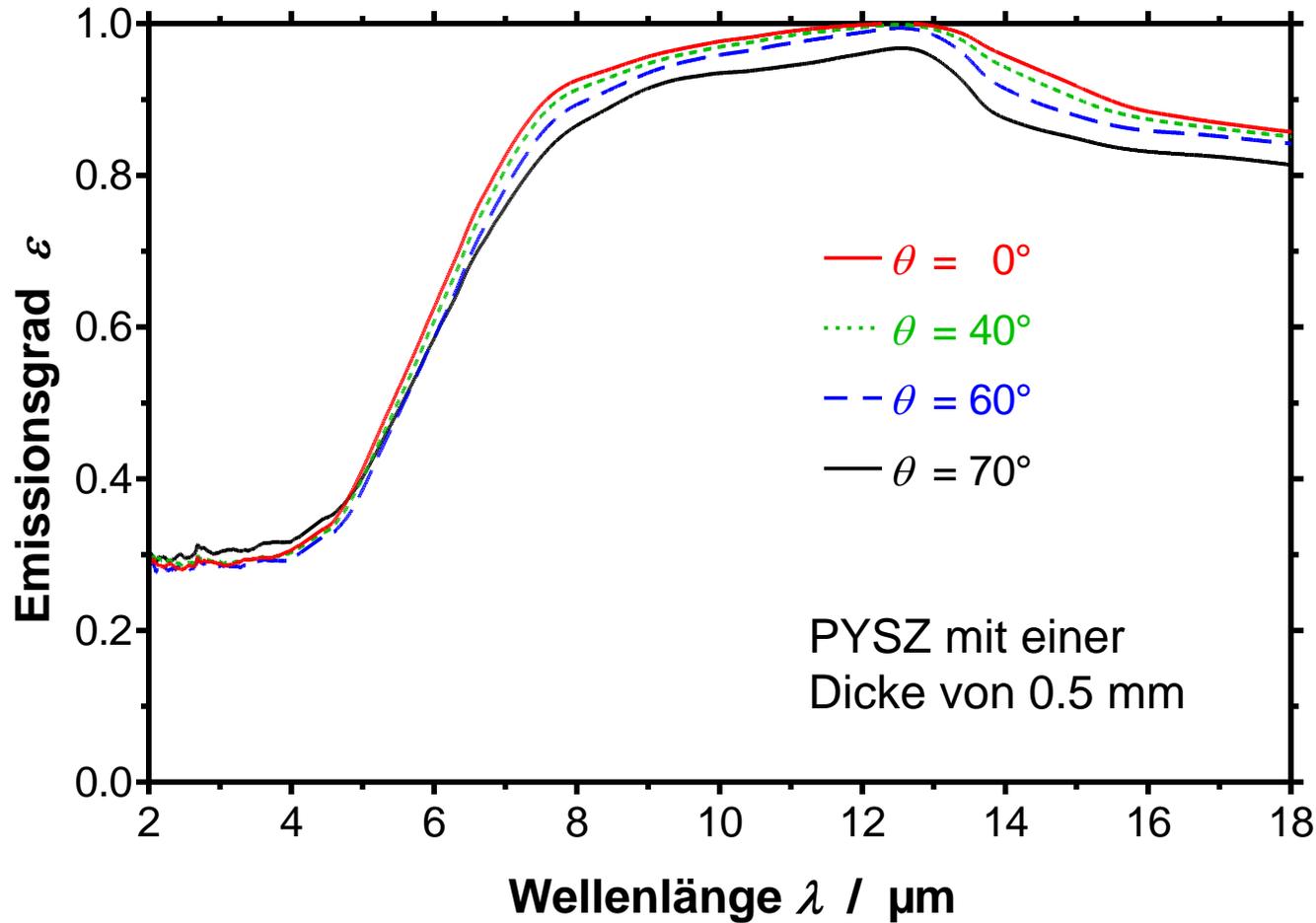
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



EMISSIONSGRAD VON TEILSTABILISIERTEM ZIRKONOXID (PYSZ)



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



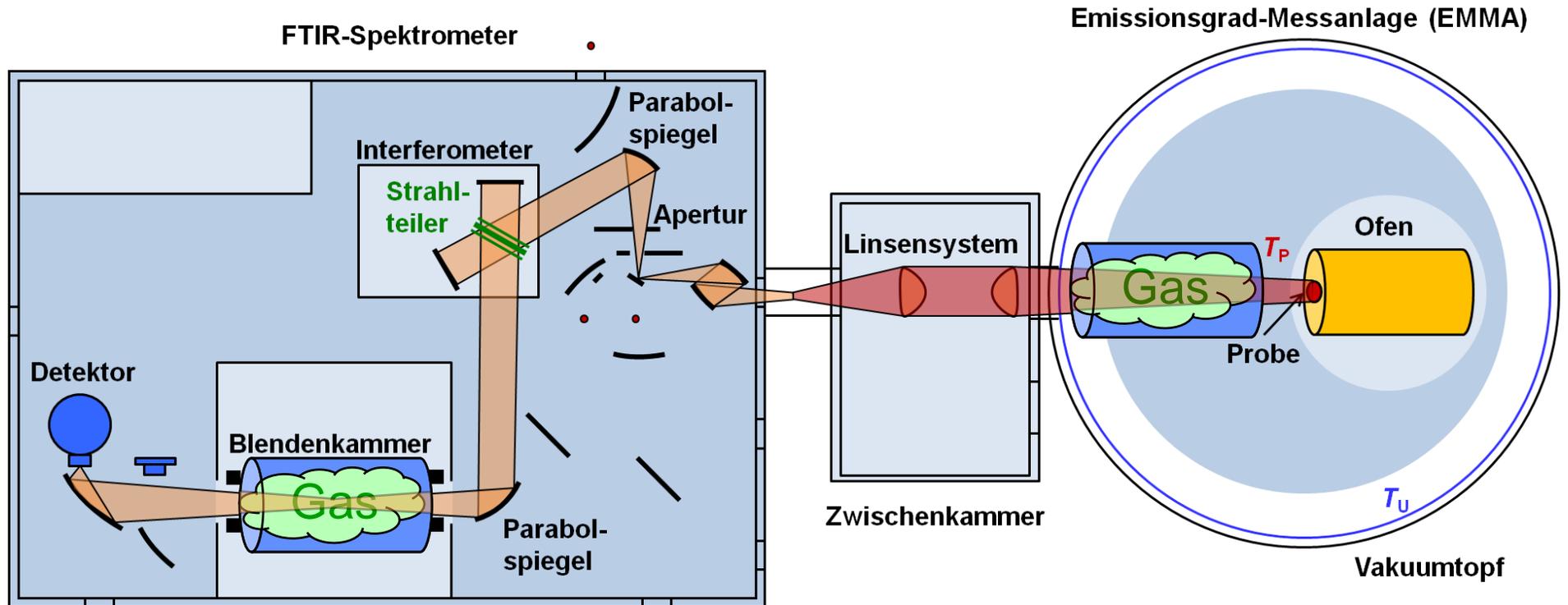
geringe Abhängigkeit
vom Abstrahlwinkel
bis zu Winkeln
von 60°

EINBAU DER GASMESSZELLE ZUR MESSUNG



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

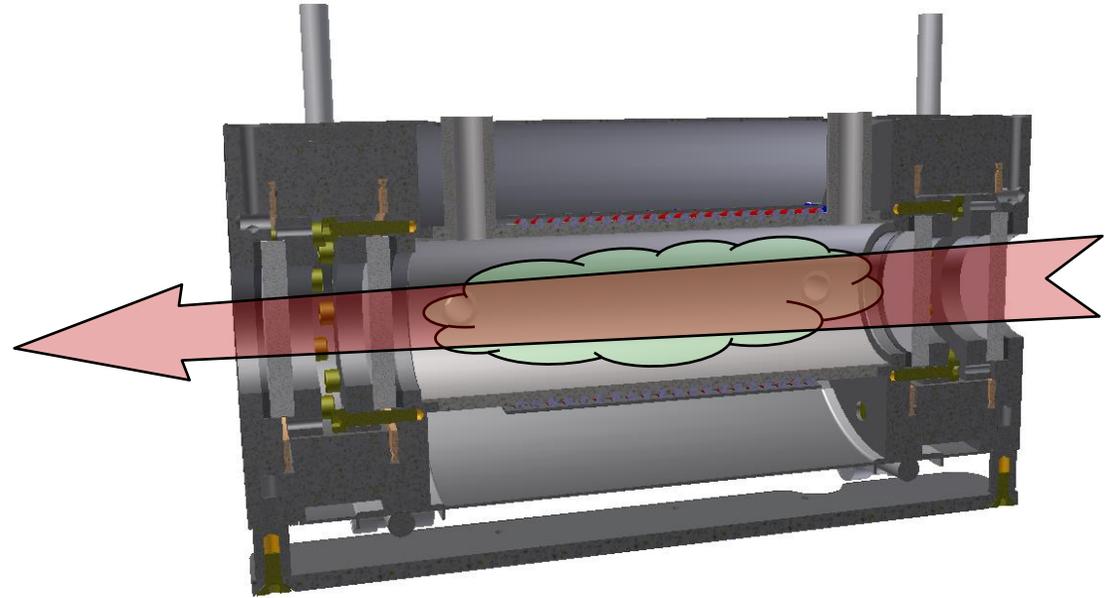


GASMESSZELLE



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

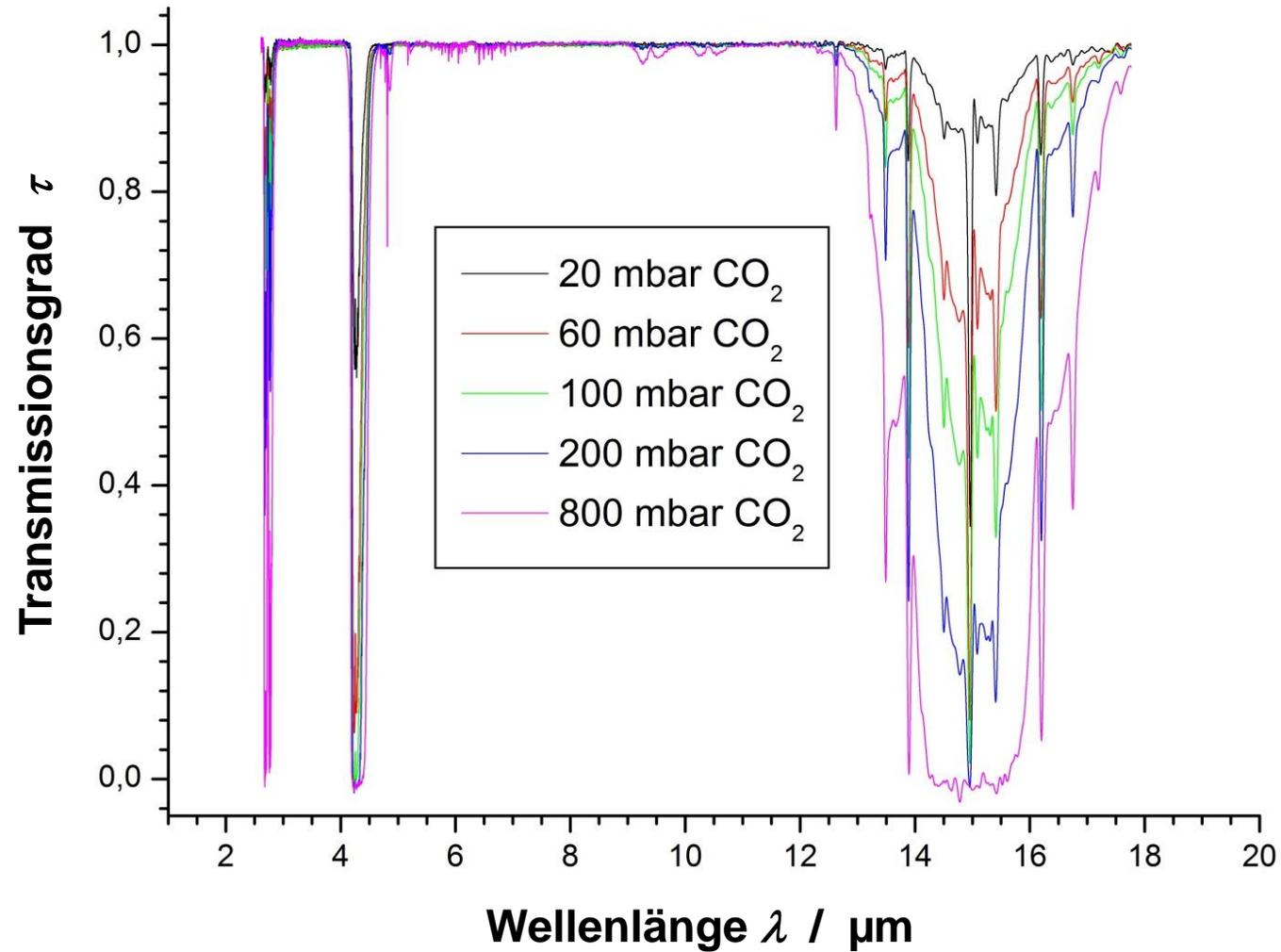


TRANSMISSIONSGRAD VON CO₂



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

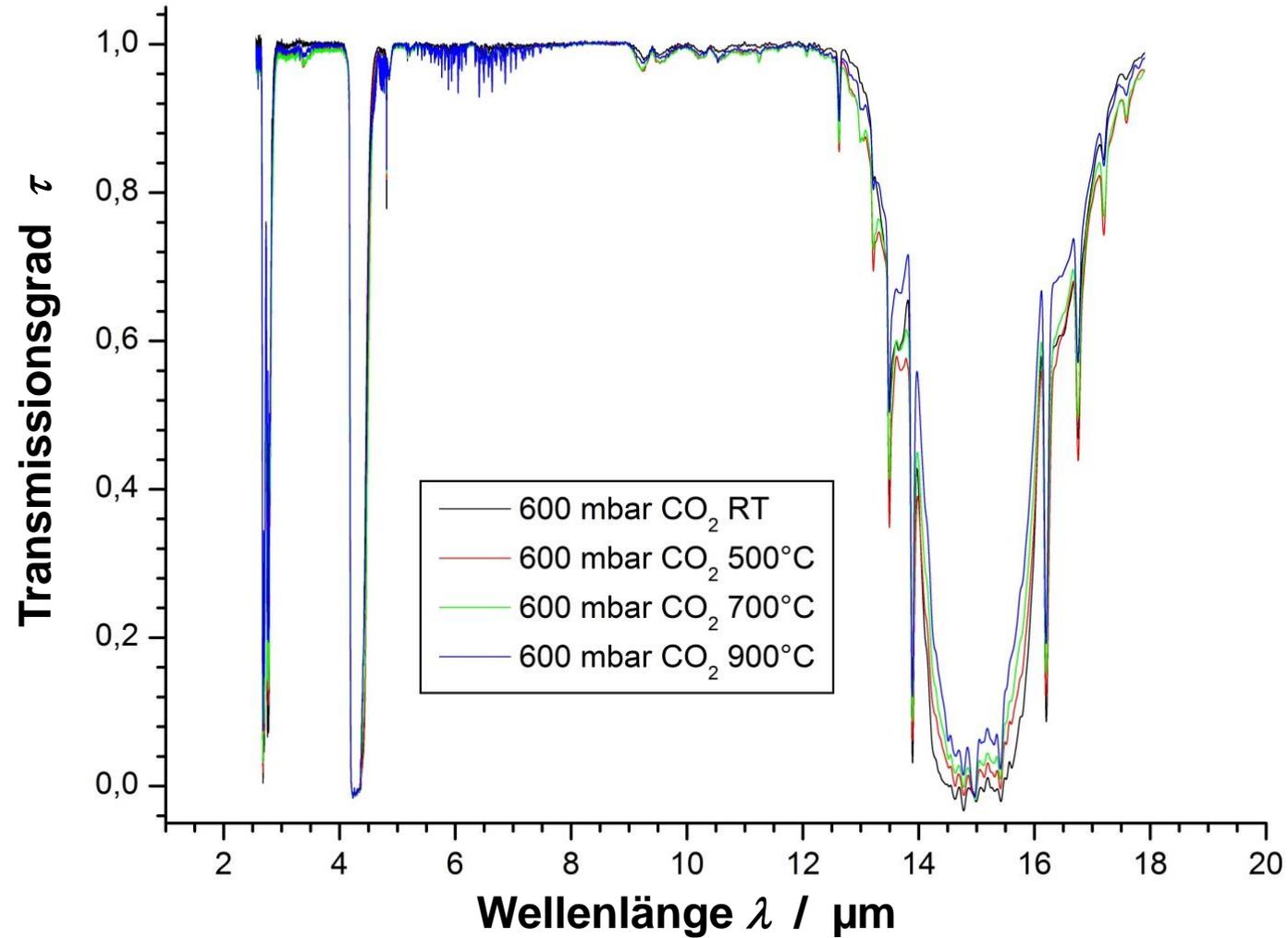


TRANSMISSIONSGRAD VON CO₂



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



TRANSMISSIONSGRAD DES VERBRENNUNGSGASES



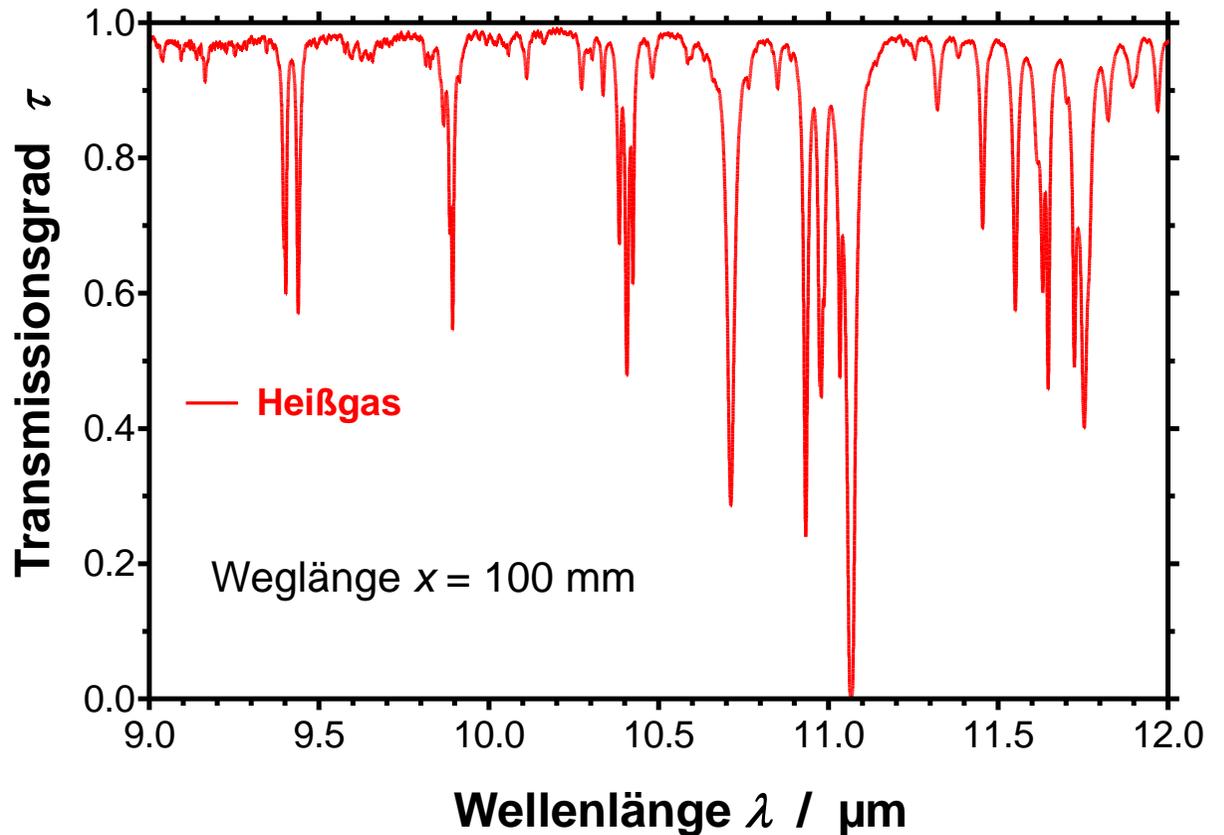
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Verbrennungsgas

- Temperatur $T = 1600 \text{ K}$
- Druck $p = 13 \text{ bar}$

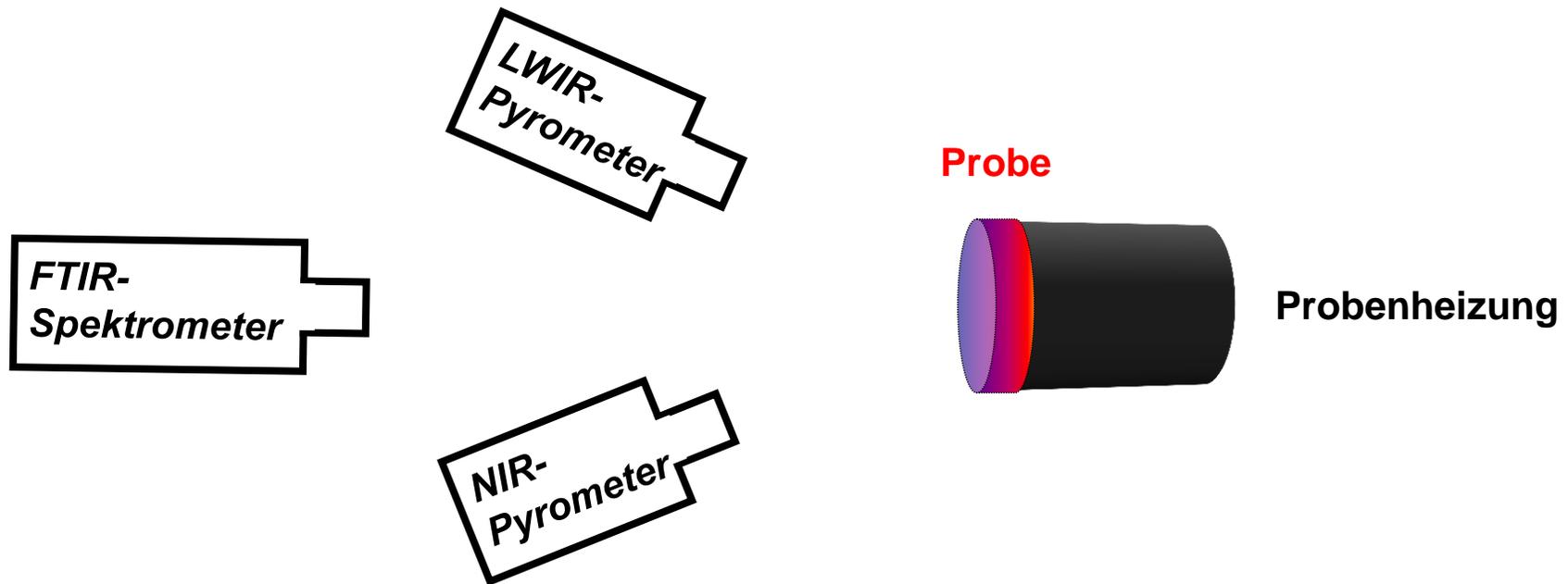
Gas	Anteil
N_2	75 %
O_2	10 %
H_2O	10 %
CO_2	5 %



TESTMESSUNG AN EINER RÜCKSEITIG BEHEIZTEN TBC-PROBE



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



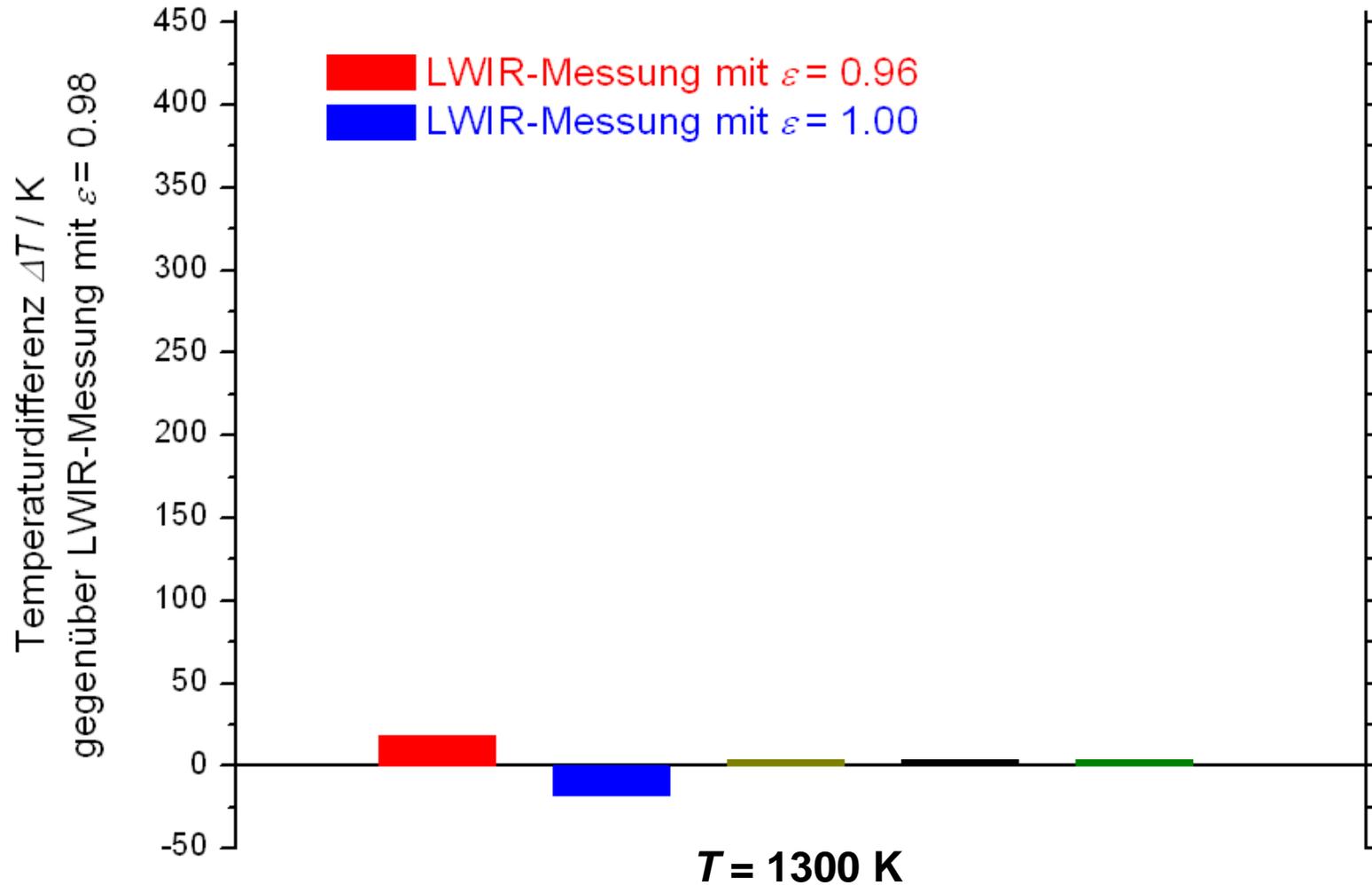
TESTMESSUNG AN EINER RÜCKSEITIG BEHEIZTEN TBC-PROBE



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

LWIR: $\varepsilon = 0.98$

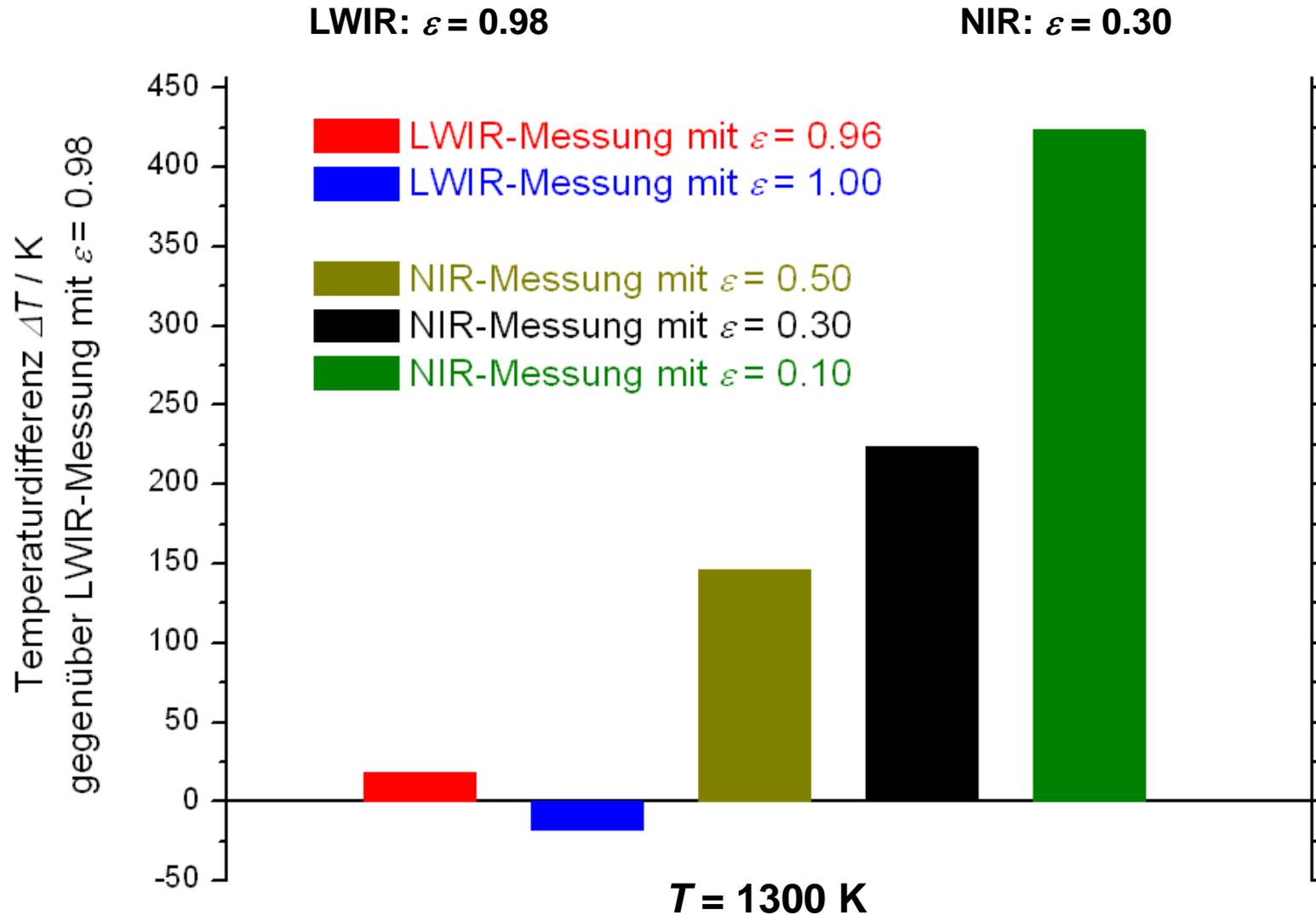


TESTMESSUNG AN EINER RÜCKSEITIG BEHEIZTEN TBC-PROBE



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



Verwendete Charakterisierungsverfahren:

- Gasmesszelle
- Emissionsgradmessanlage (EMMA)
- Black Body Boundary Conditions Anlage (BBC)

Optimale Wellenlängenbereiche:

- kurzwelliger Bereich bei opaken Schichten
- langwelliger Bereich bei semi-transparenten Schichten

Vielen Dank!

MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern

jochen.manara@zae-bayern.de



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung