

Bayerisches Zentrum für
Angewandte Energieforschung e.V.

IR-optische Charakterisierung keramischer Wärmedämmschichten unter extremen Bedingungen zur berührungslosen Temperaturmessung in Heißgasturbinen

J. Manara, M. Lenhart-Rydzek, J.Hartmann, H.-P. Ebert

MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern

Jahrestagung 2013 des
Arbeitskreises Thermophysik
Dresden, 18.-19. März 2013



- **Motivation**
 - Temperaturbestimmung in Heißgasturbinen zur Betriebsoptimierung
- **Bestimmung der infrarot-optischen Eigenschaften**
 - Messung von Emissions- und Transmissionsgrad bei hohen Temperaturen
- **Berührungslose Temperaturmessung**
 - Einfluss des Emissionsgrades und der Umgebung
 - Einfluss des Heißgases
- **Zusammenfassung und Ausblick**
 - Verwendete Charakterisierungsverfahren
 - Erweiterung der Messaufbauten

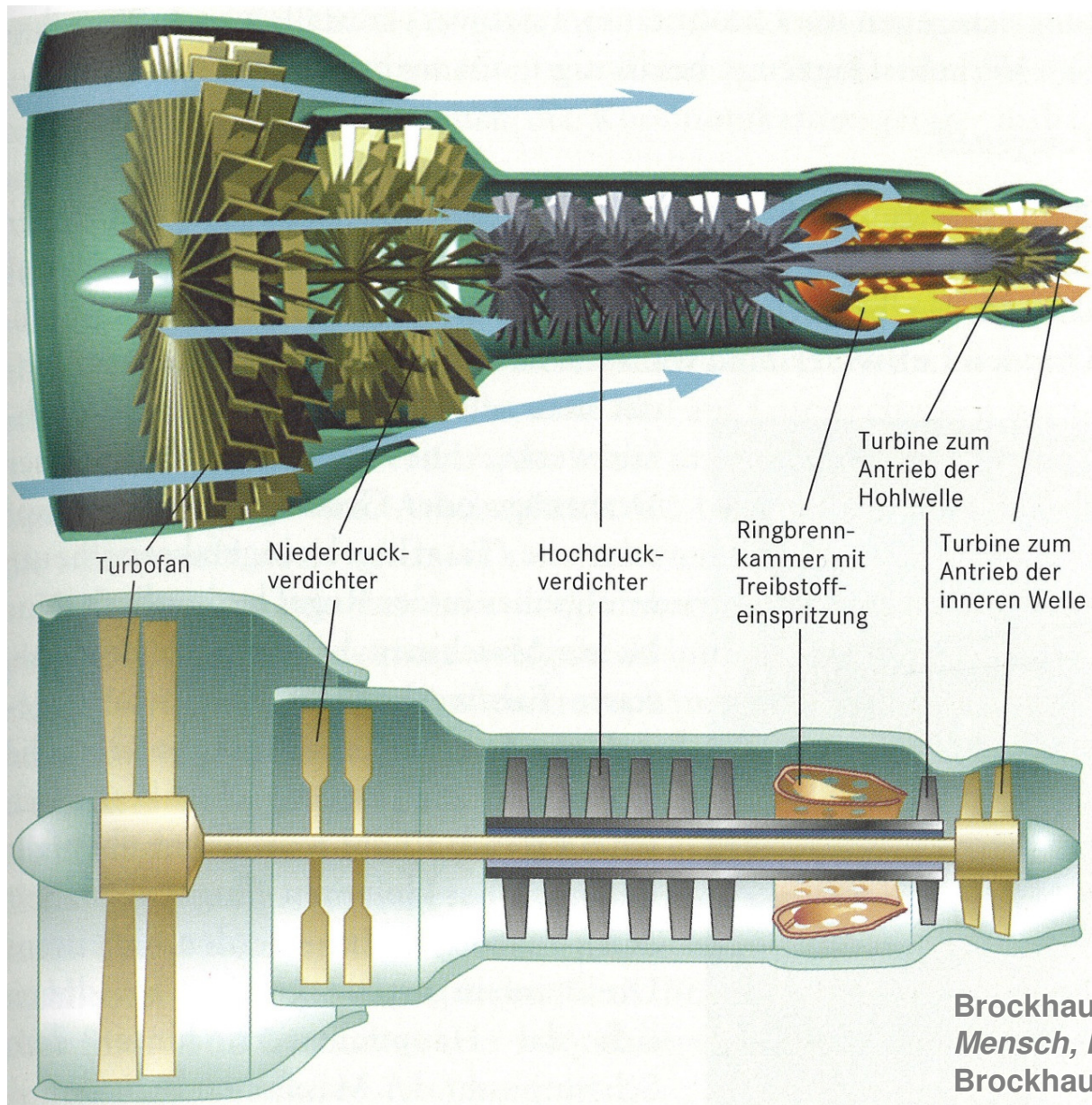
- **Motivation**
 - Temperaturbestimmung in Heißgasturbinen zur Betriebsoptimierung
- **Bestimmung der infrarot-optischen Eigenschaften**
 - Messung von Emissions- und Transmissionsgrad bei hohen Temperaturen
- **Berührungslose Temperaturmessung**
 - Einfluss des Emissionsgrades und der Umgebung
 - Einfluss des Heißgases
- **Zusammenfassung und Ausblick**
 - Verwendete Charakterisierungsverfahren
 - Erweiterung der Messaufbauten

FLUGZEUGTURBINEN



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

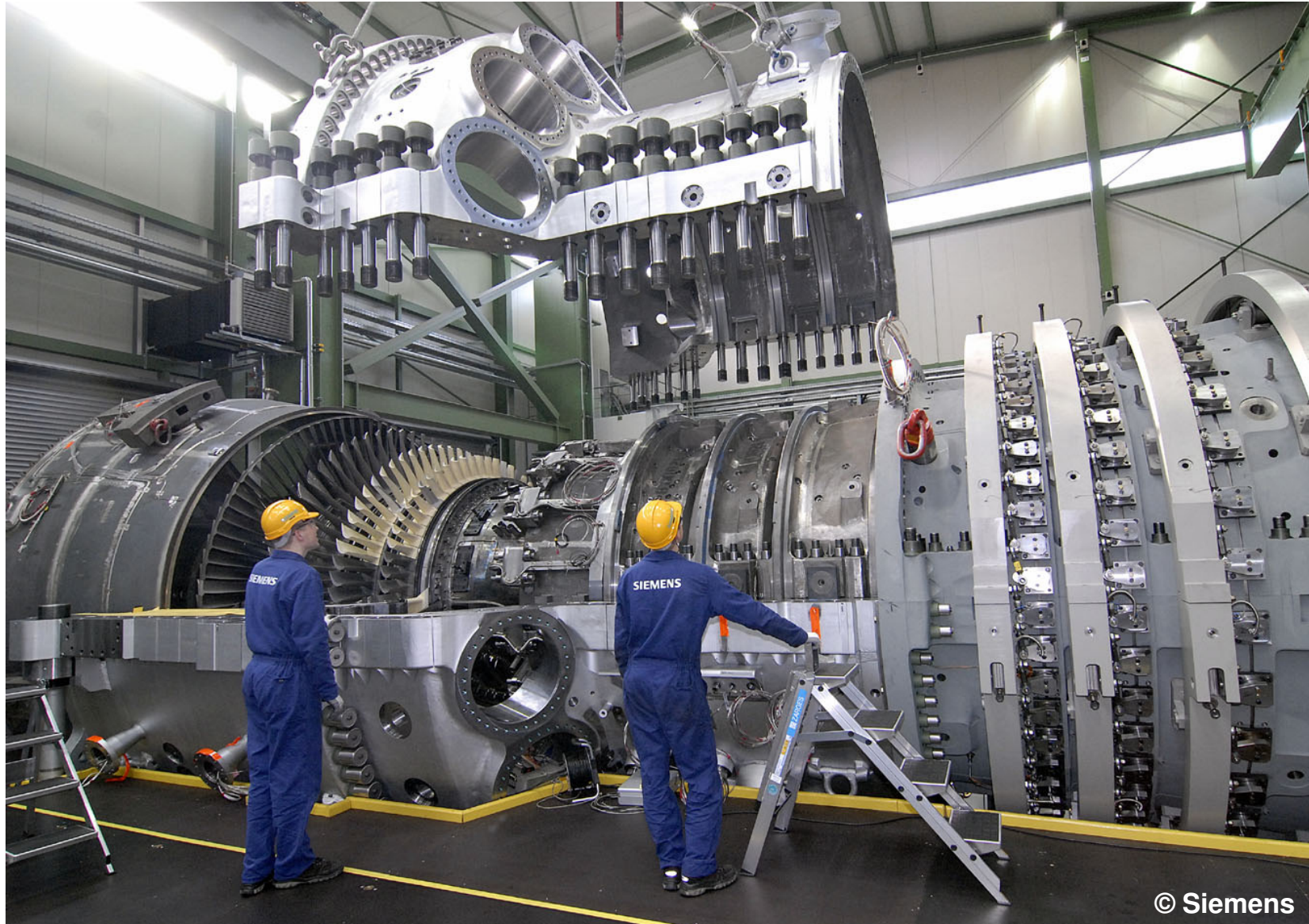


STATIONÄRE HEIßGASTURBINEN



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

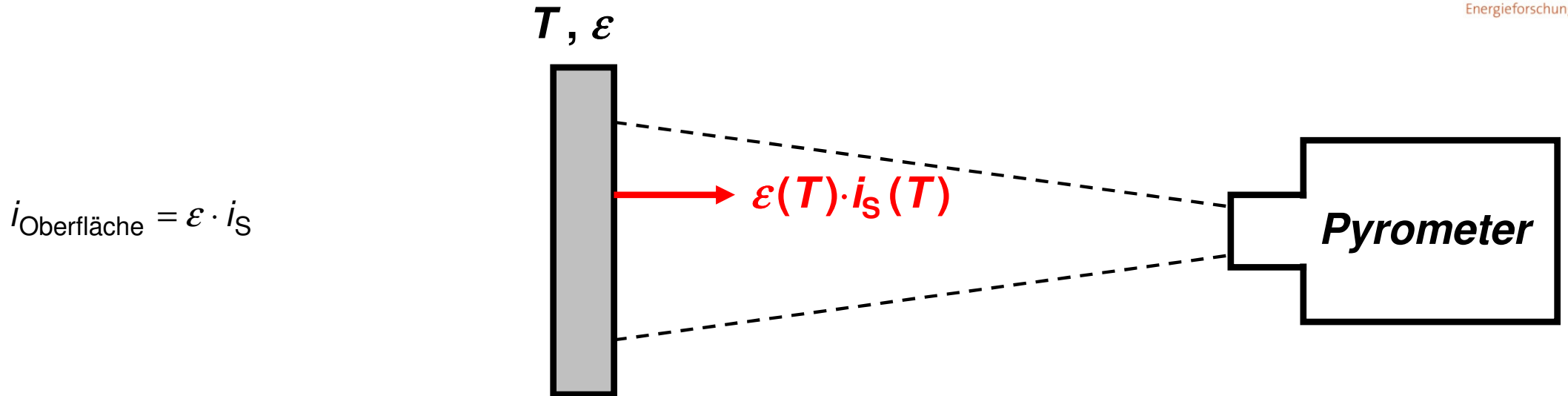


© Siemens

BERÜHRUNGSLÖSE TEMPERATURMESSUNG



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



Emissionsgrad ε bekannt →

Temperaturbestimmung möglich

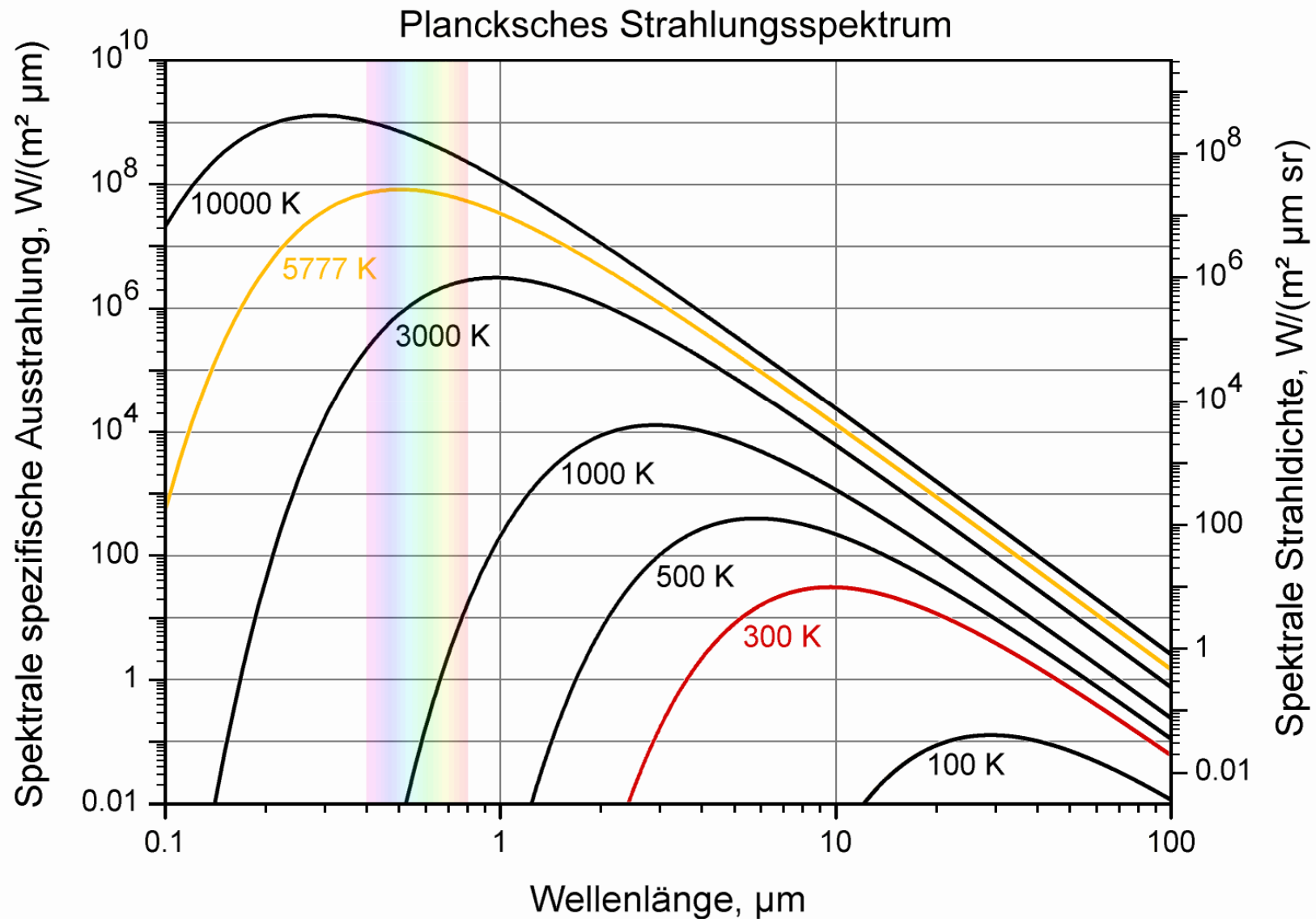
Temperatur T bekannt →

Emissionsgradbestimmung möglich

WÄRMEABSTRAHLUNG EINES SCHWARZEN STRAHLERS



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

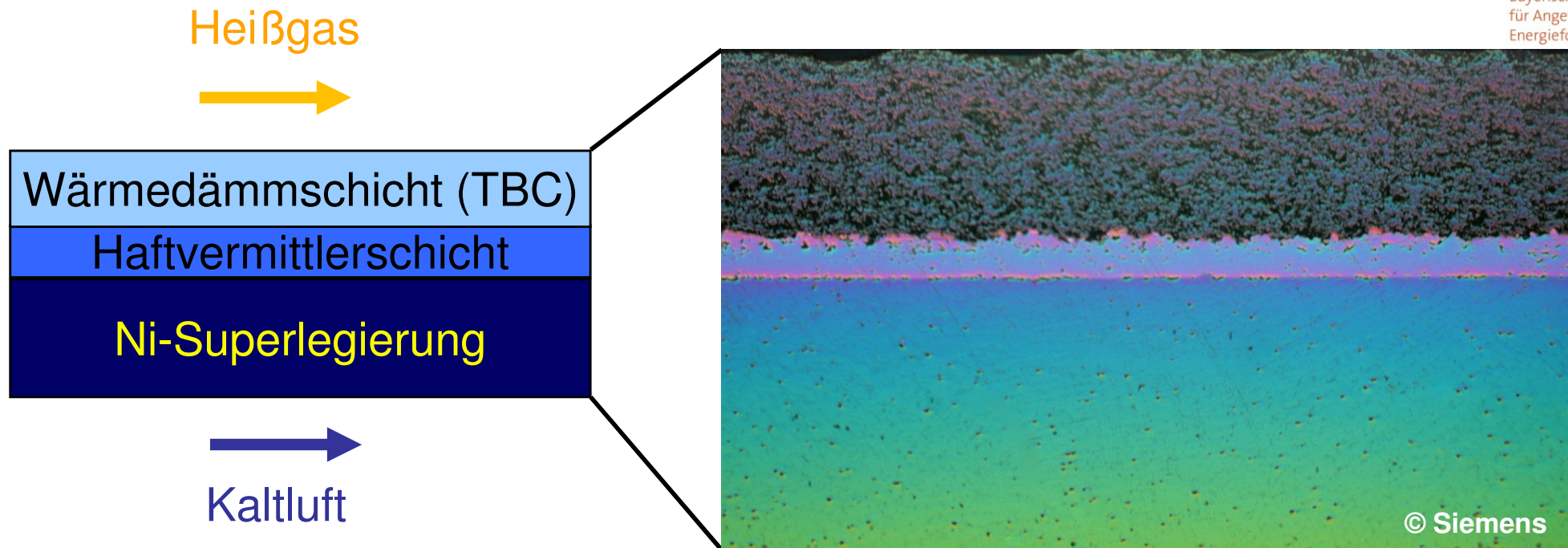


KERAMISCHE WÄRMEDÄMMSCHICHTEN (THERMAL BARRIER COATINGS)



ZAE BAYERN

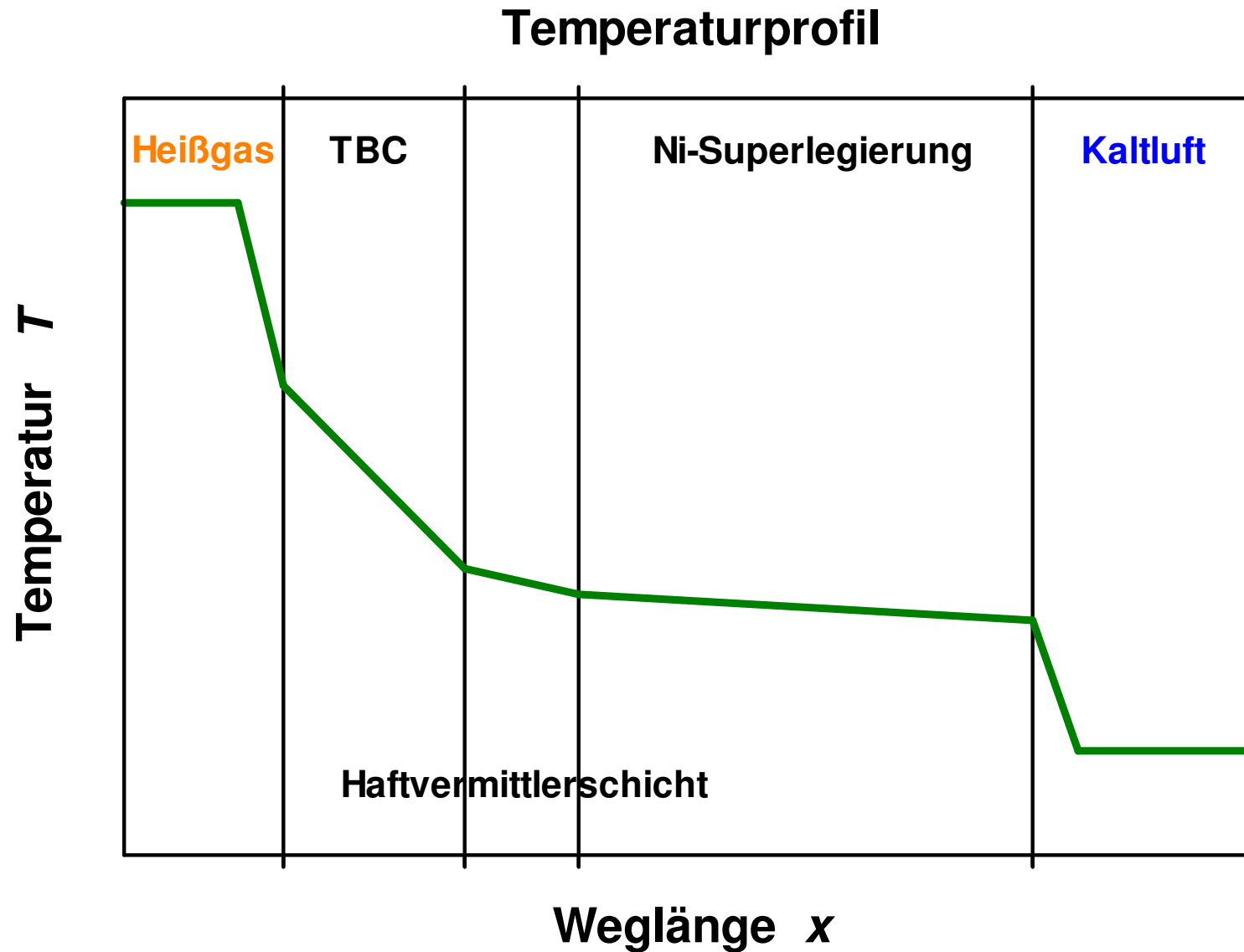
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



WÄRMEDURCHGANG DURCH EINE WÄRMEDÄMMSCHICHT (TBC)



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung





BESTIMMUNG DER INFRAROT-OPTISCHEN EIGENSCHAFTEN

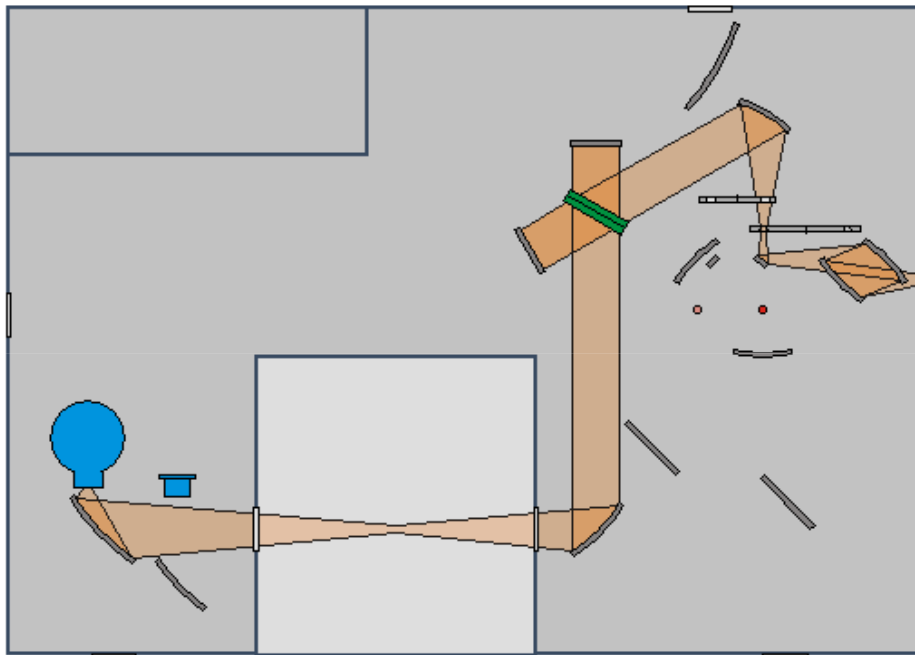
- **Motivation**
 - Temperaturbestimmung in Heißgasturbinen zur Betriebsoptimierung
- **Bestimmung der infrarot-optischen Eigenschaften**
 - Messung von Emissions- und Transmissionsgrad bei hohen Temperaturen
- **Berührungslose Temperaturmessung**
 - Einfluss des Emissionsgrades und der Umgebung
 - Einfluss des Heißgases
- **Zusammenfassung und Ausblick**
 - Verwendete Charakterisierungsverfahren
 - Erweiterung der Messaufbauten

EMISSIONSGRADMESSANLAGE (EMMA)

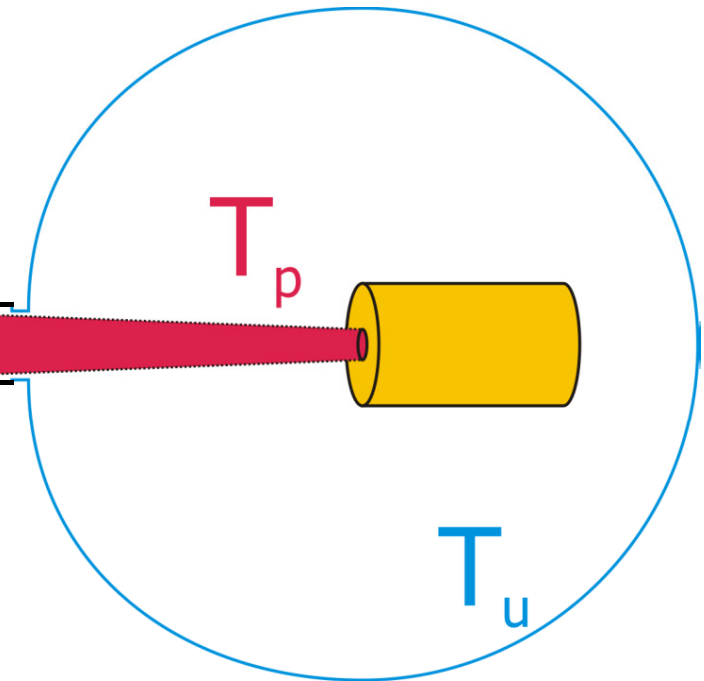


ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

FTIR-Spektrometer



EMMA



$$i_{\text{Messung}}(T_P) = \varepsilon(T_P) \cdot i_S(T_P) + [1 - \varepsilon(T_P)] \cdot i_S(T_U)$$

EMISSIONSGRADMESSANLAGE (EMMA)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

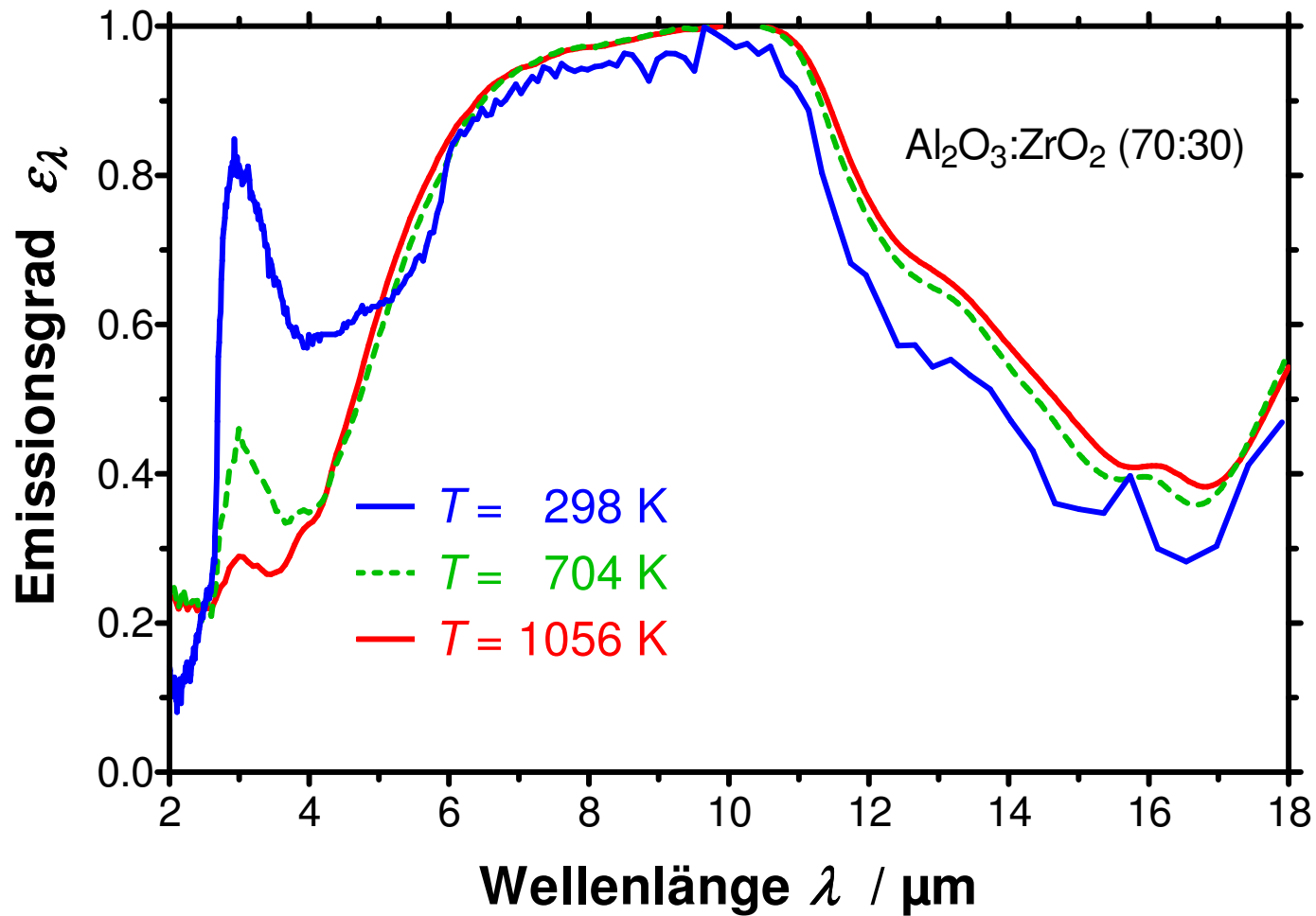


$$i_{\text{Messung}}(T_P) = \varepsilon(T_P) \cdot i_S(T_P) + [1 - \varepsilon(T_P)] \cdot i_S(T_U)$$

EMISSIONSGRAD EINER OPTISCH DICKEN KERAMIK



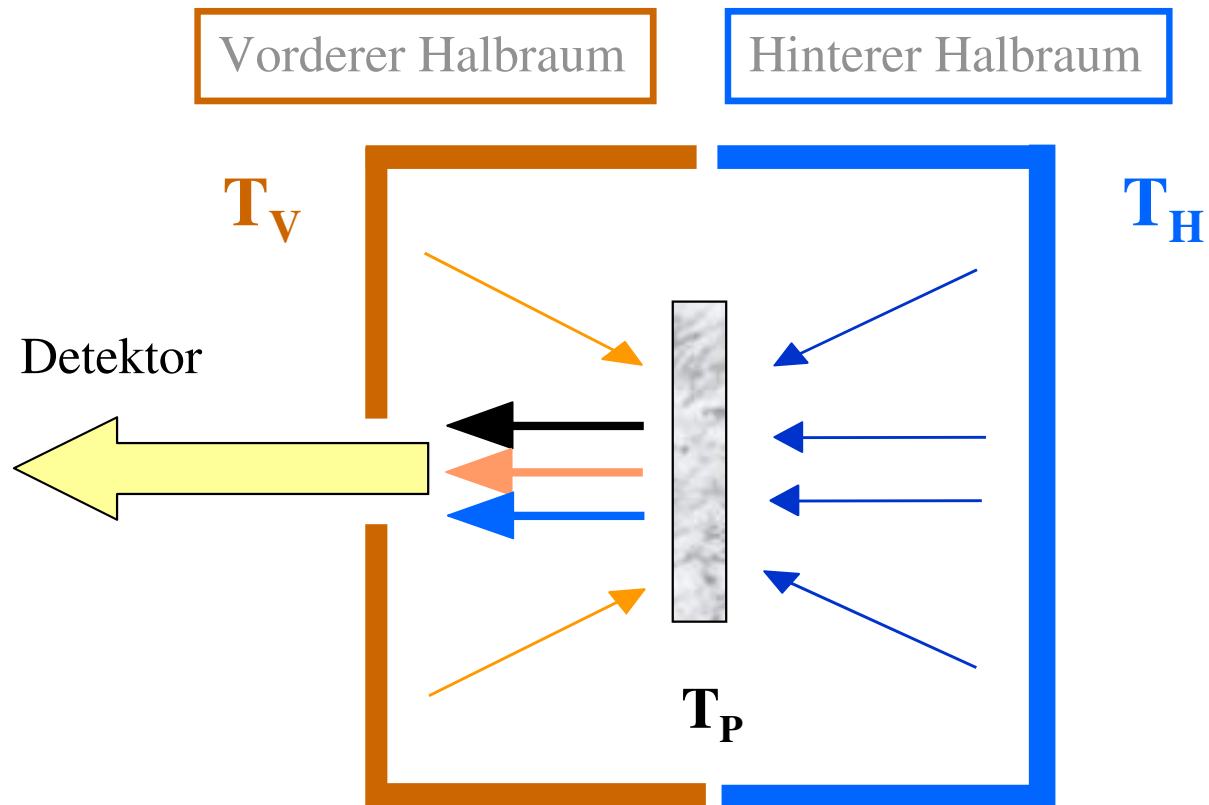
ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



BLACKBODY BOUNDARY CONDITIONS APPARATUR (BBC)



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



Emission

Reflexion

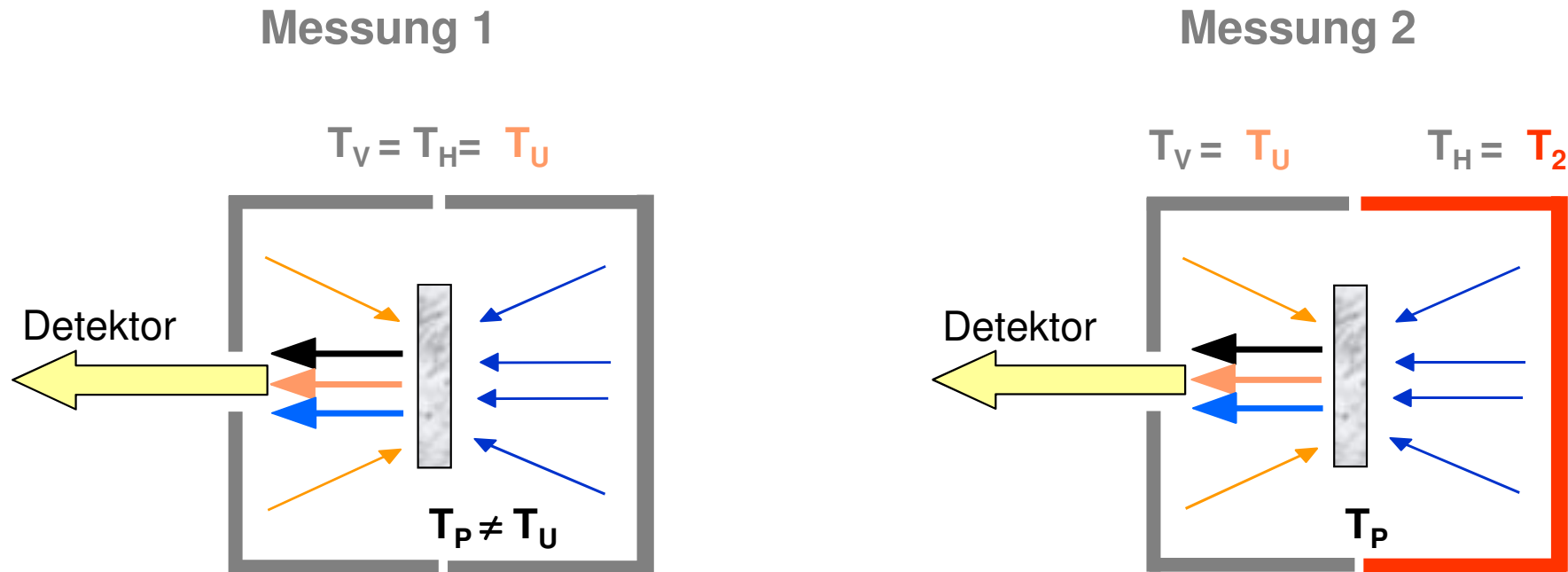
Transmission

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

BLACKBODY BOUNDARY CONDITIONS APPARATUR (BBC)



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



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

Emission

Reflexion

Transmission

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

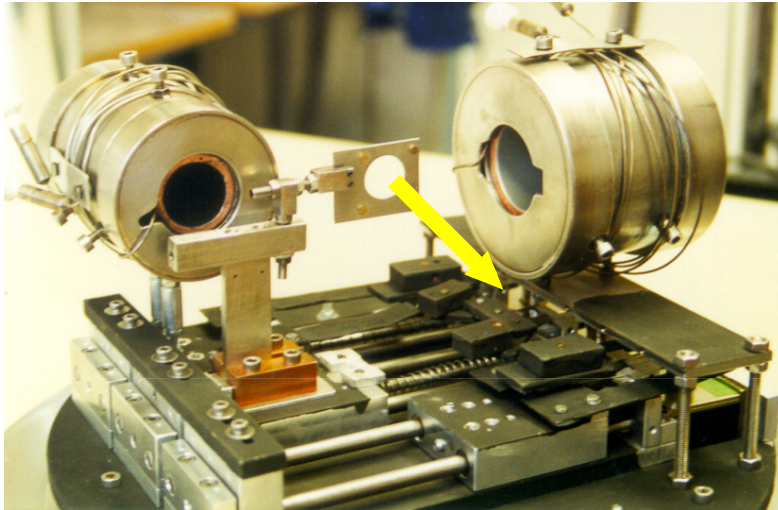
BLACKBODY BOUNDARY CONDITIONS APPARATUR (BBC)



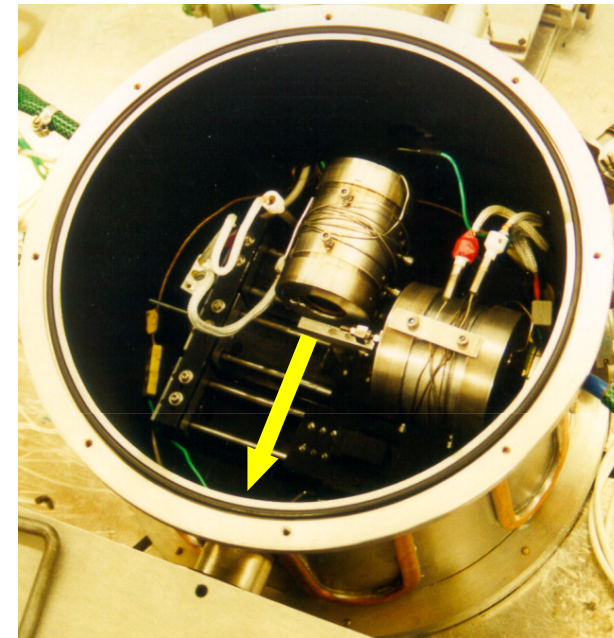
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Messung 1



Messung 2



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

Emission

Reflexion

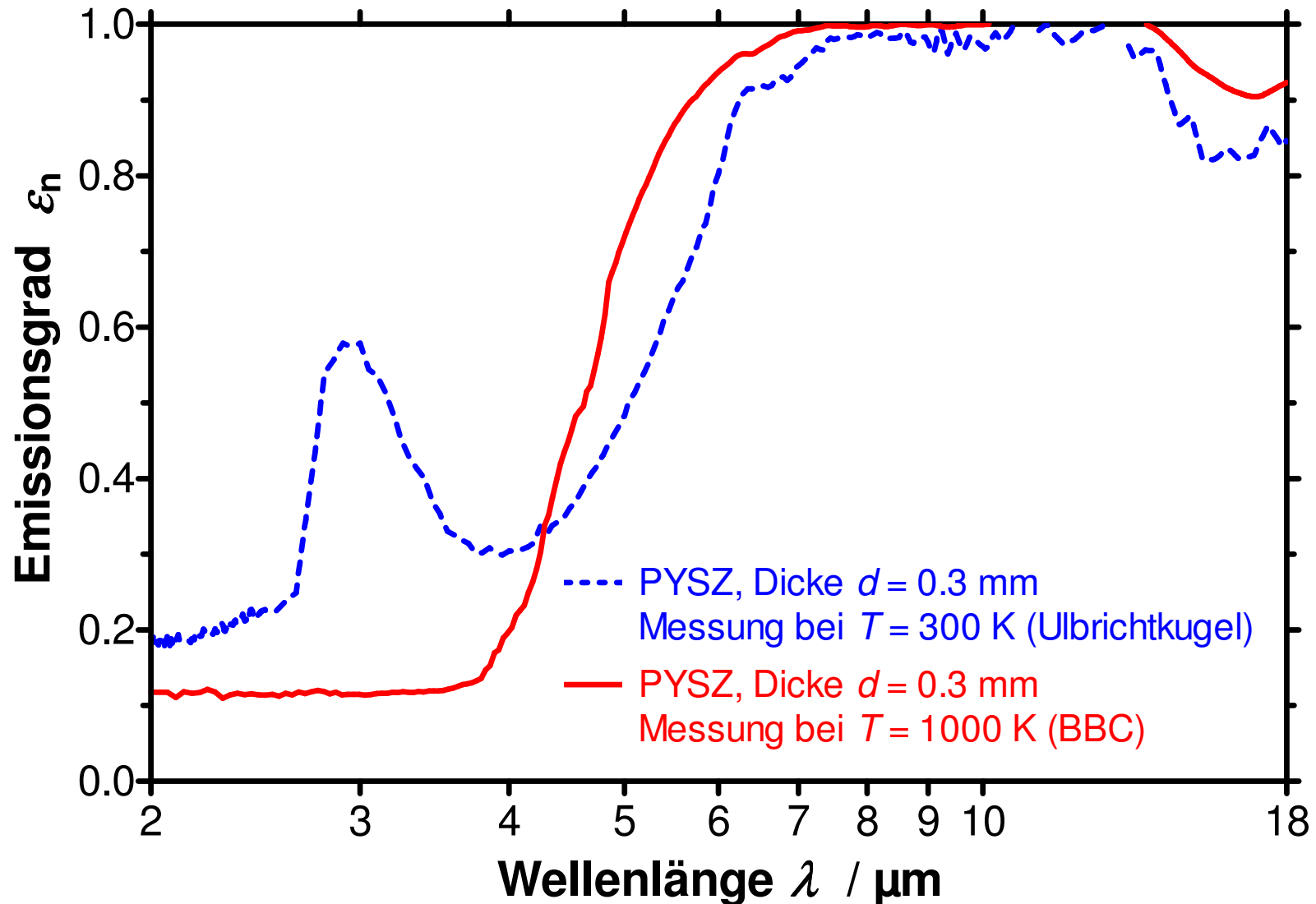
Transmission

$$(2) \quad i_{\text{Messung 2}}(T_P, T_U, T_2) = \overbrace{\varepsilon(T_P) \cdot I_S(T_P)} + \overbrace{\rho(T_P) \cdot I_S(T_U)} + \overbrace{\tau(T_P) \cdot I_S(T_2)}$$

EMISSIONSGRAD EINER FREISTEHENDEN WÄRMEDÄMMSCHICHT



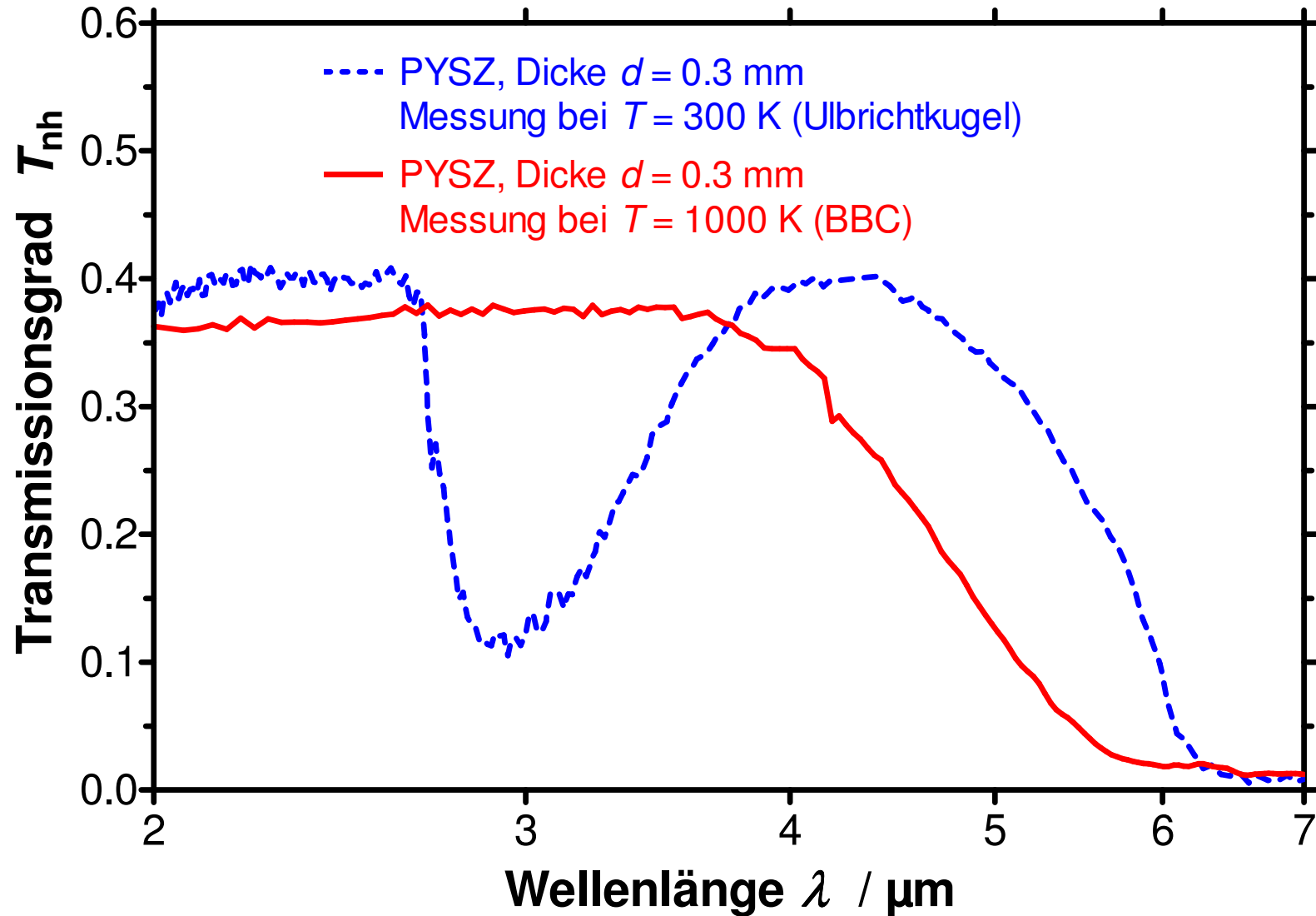
ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



TRANSMISSIONSGRAD EINER FREISTEHENDEN WÄRMEDÄMMSCHICHT



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

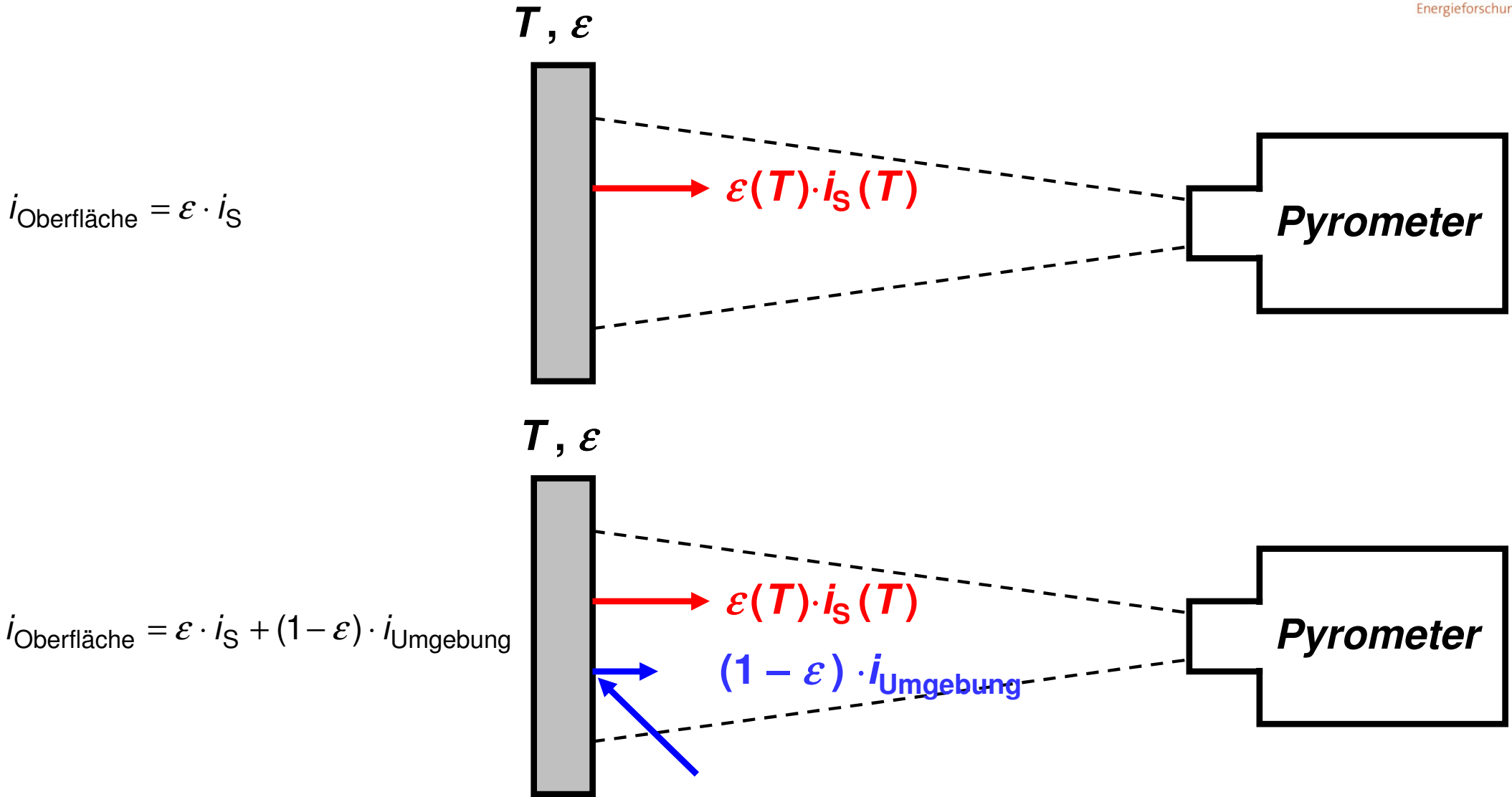


- **Motivation**
 - Temperaturbestimmung in Heißgasturbinen zur Betriebsoptimierung
- **Bestimmung der infrarot-optischen Eigenschaften**
 - Messung von Emissions- und Transmissionsgrad bei hohen Temperaturen
- **Berührungslose Temperaturmessung**
 - Einfluss des Emissionsgrades und der Umgebung
 - Einfluss des Heißgases
- **Zusammenfassung und Ausblick**
 - Verwendete Charakterisierungsverfahren
 - Erweiterung der Messaufbauten

BERÜHRUNGSLÖSE TEMPERATURMESSUNG



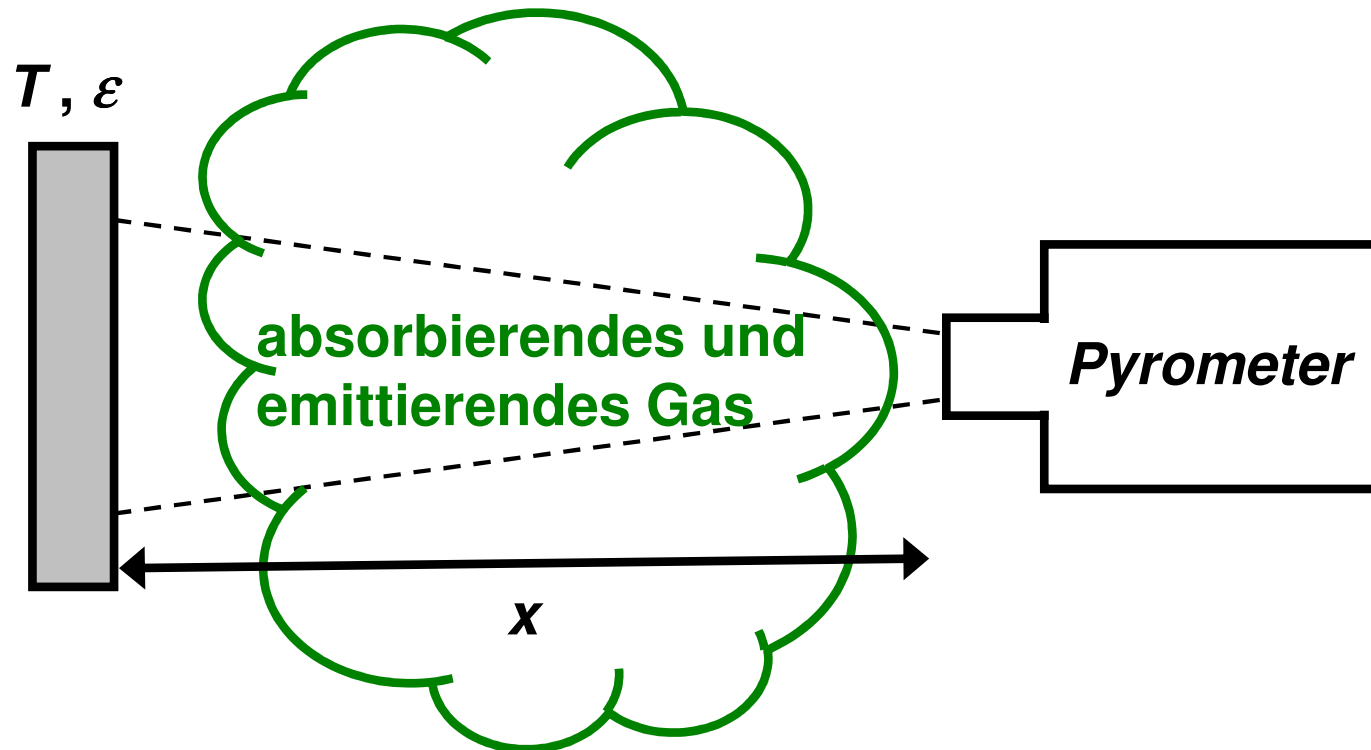
ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



BERÜHRUNGSLLOSE TEMPERATURMESSUNG



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



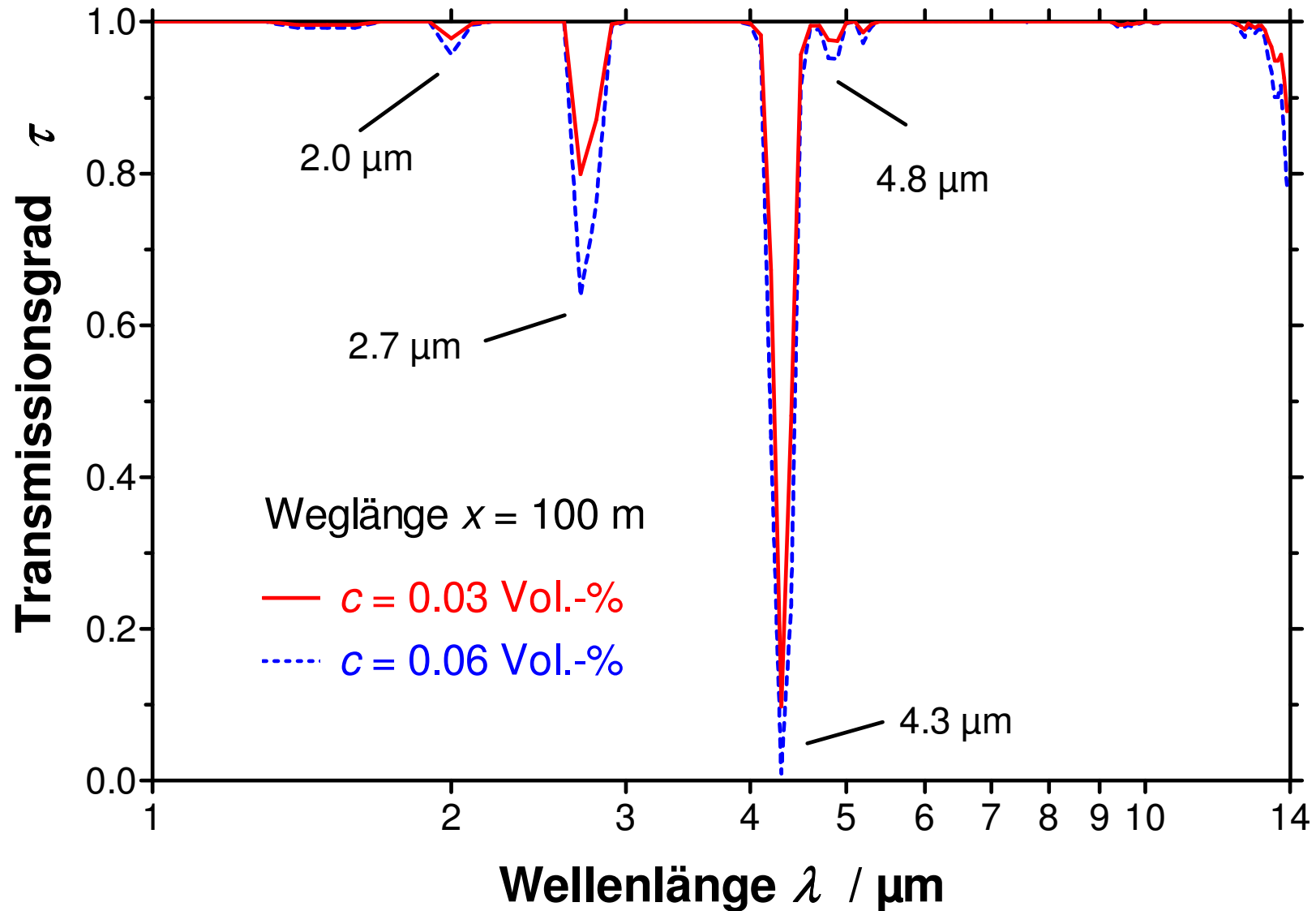
$$i_{\text{Messung}}(T) = i_{\text{Oberfläche}}(T, T_{\text{Gas}}, T_{\text{Umgebung}}, \varepsilon, x) \cdot \tau_{\text{Gas}}(T_{\text{Gas}}, x) \\ + \varepsilon_{\text{Gas}}(T_{\text{Gas}}, x) \cdot i_{\text{S}}(T_{\text{Gas}})$$

TRANSMISSIONSGRAD VON KOHLENDIOXID (CO₂) – ATMOSPHÄRE



ZAE BAYERN

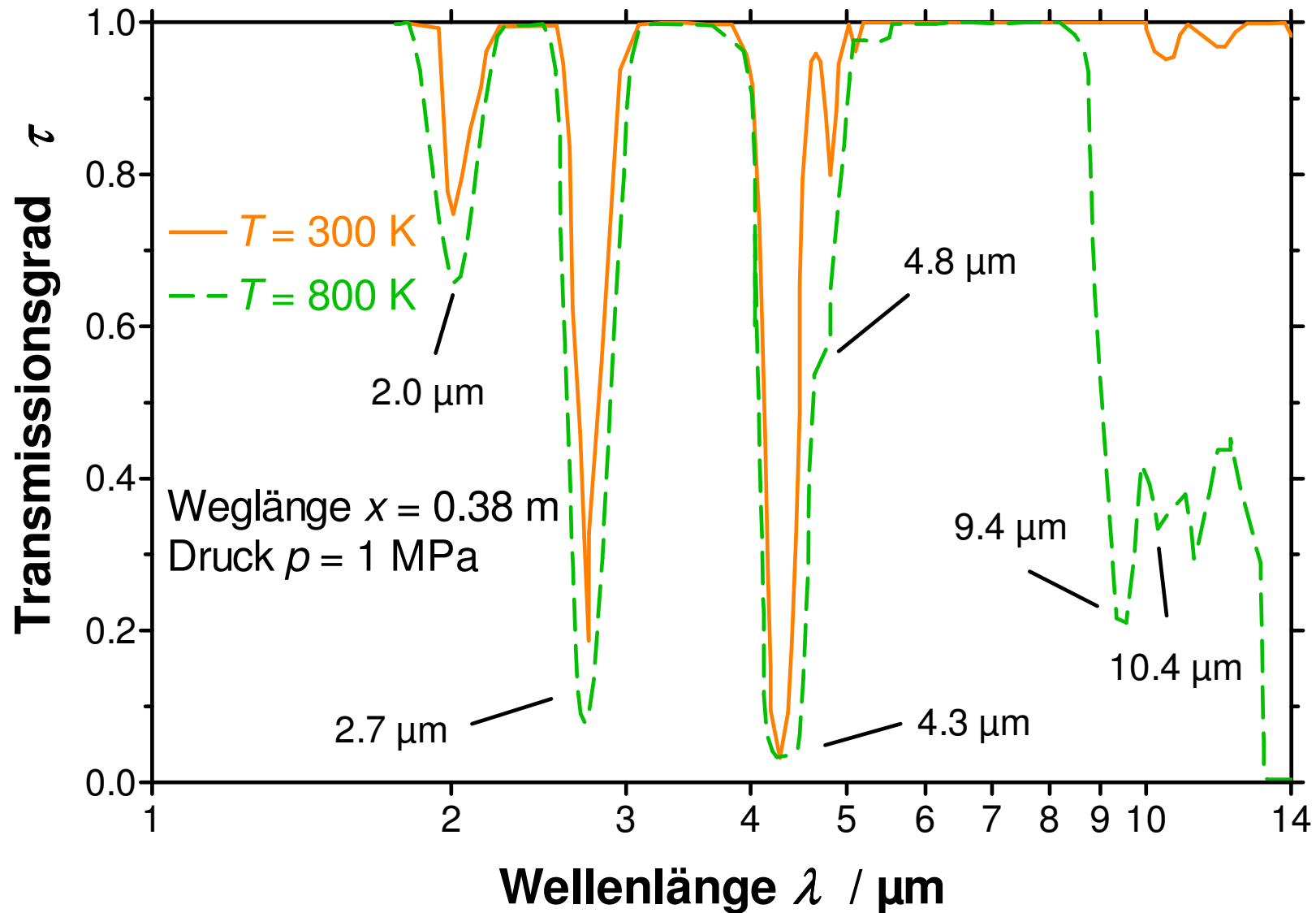
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



TRANSMISSIONSGRAD VON KOHLENDIOXID (CO₂) – HOHER DRUCK



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



- **Motivation**
 - Temperaturbestimmung in Heißgasturbinen zur Betriebsoptimierung
- **Bestimmung der infrarot-optischen Eigenschaften**
 - Messung von Emissions- und Transmissionsgrad bei hohen Temperaturen
- **Berührungslose Temperaturmessung**
 - Einfluss des Emissionsgrades und der Umgebung
 - Einfluss des Heißgases
- **Zusammenfassung und Ausblick**
 - Verwendete Charakterisierungsverfahren
 - Erweiterung der Messaufbauten

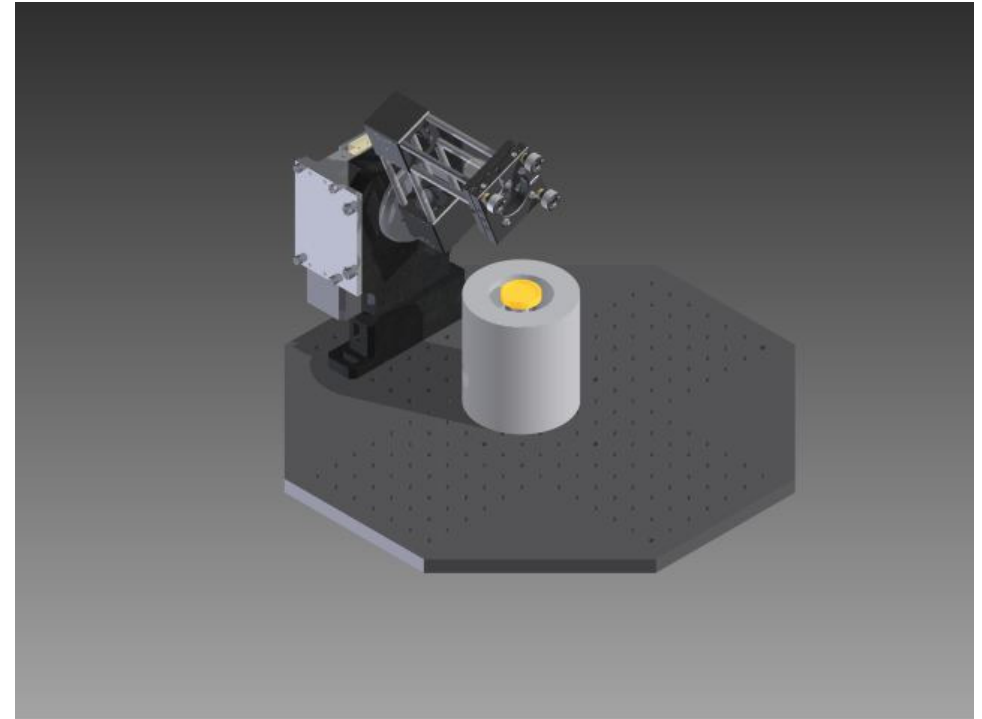
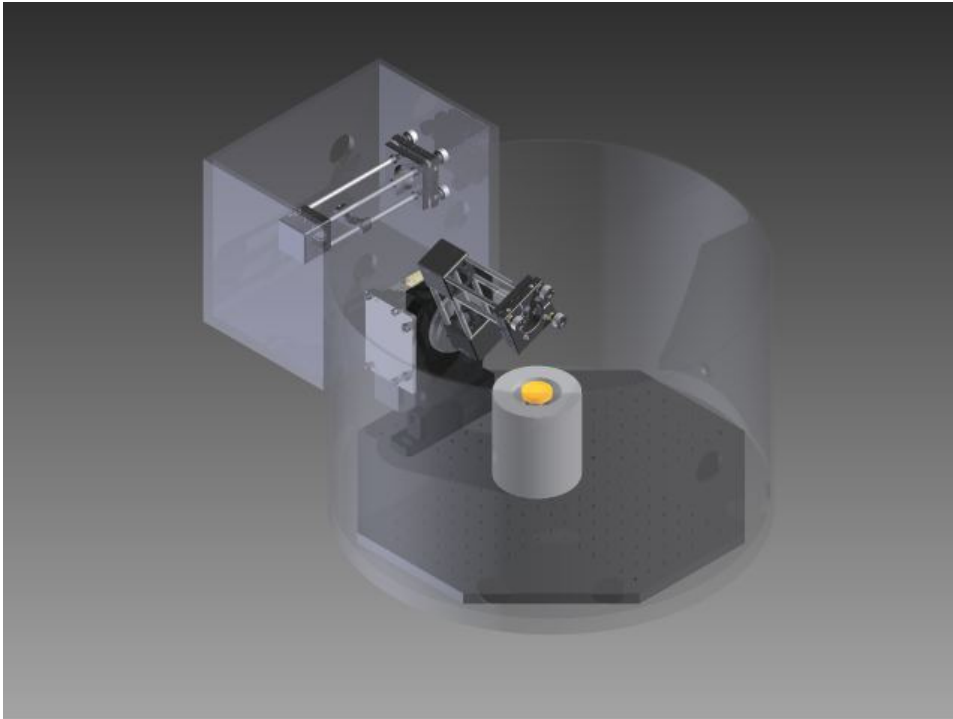
CHARAKTERISIERUNGSVERFAHREN

Emissionsgradmessanlage (EMMA)



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



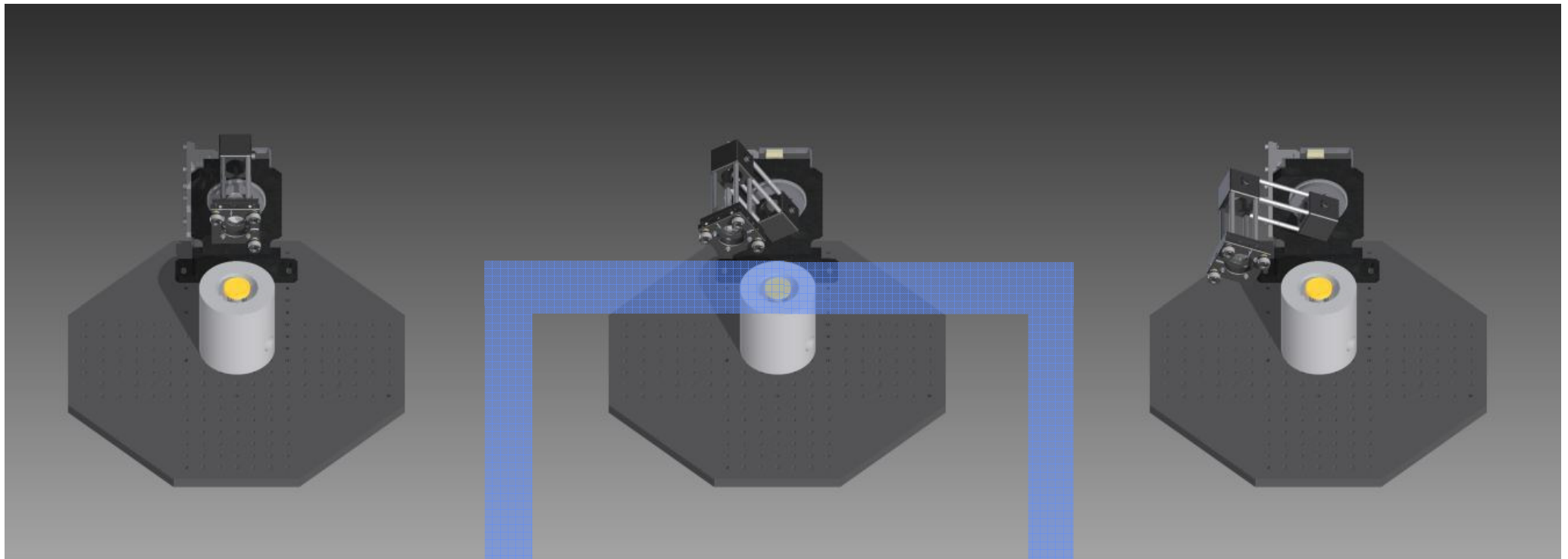
ERWEITERUNG DER MESSAUFBAUTEN



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Emissionsgradmessanlage (EMMA) mit Heißgas und Pyrometer



Heißgas-Einlass

Heißgas-Auslass

Verwendete Charakterisierungsverfahren im Hochtemperaturbereich:

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

Berührungslose Temperaturmessung im Hochtemperaturbereich:

- kurzwelliger Bereich bei opaken Schichten
- langwelliger Bereich bei semitransparenten Schichten

Erweiterung der Messaufbauten

- Durchführung der Messungen mit Heißgas
- Gleichzeitige Erfassung der Wärmeabstrahlung mit Spektrometer und Pyrometer

Vielen Dank!

MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern

manara@zae.uni-wuerzburg.de



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung