

Bayerisches Zentrum für
Angewandte Energieforschung e.V.

Berührungslose Charakterisierung von Schichtsystemen bei hohen Temperaturen zur Erfassung von infrarot-optischen und morphologischen Größen

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

MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern

Jahrestagung 2016 des
Arbeitskreises Thermophysik
Wien, 25.-26. April 2016



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

- **Motivation**
 - Erhöhung der Effizienz von Kraftwerksturbinen
 - Zerstörungsfreie Prüfung von Schichtsystemen

- **Berührungslose Charakterisierung**
 - Infrarot-optische Eigenschaften
 - Morphologische Größen

- **Zusammenfassung und Ausblick**
 - Schichtcharakterisierung
 - Strukturanalyse

MOTIVATION



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung



© Siemens

Erhöhung der Effizienz von
Kraftwerksturbinen durch
keramische Wärmedämmschichten
(Thermal Barrier Coatings, TBCs)

Wesentliche Größen:

- **Temperatur**
- **Wärmetransport durch Strahlung
(infrarot-optische Größen)**
- **Struktur
(morphologische Größen)**

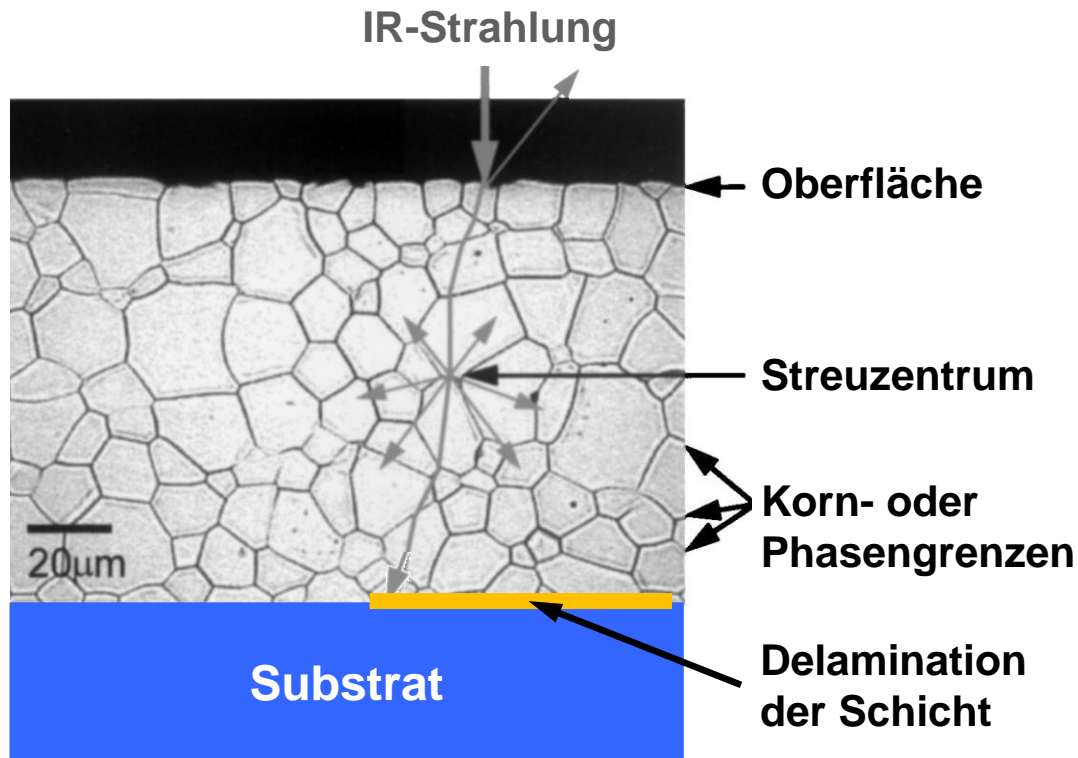
MOTIVATION



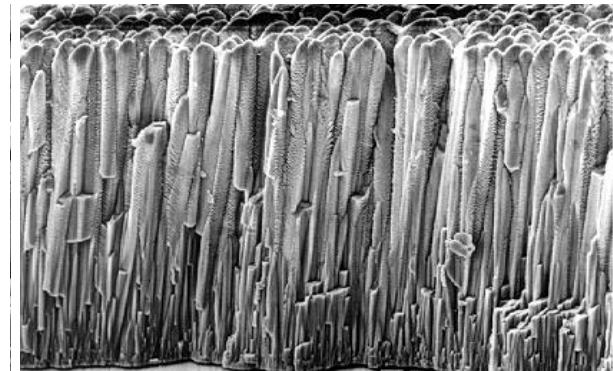
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Strahlungstransport in Keramiken



Plasma-Beschichtung

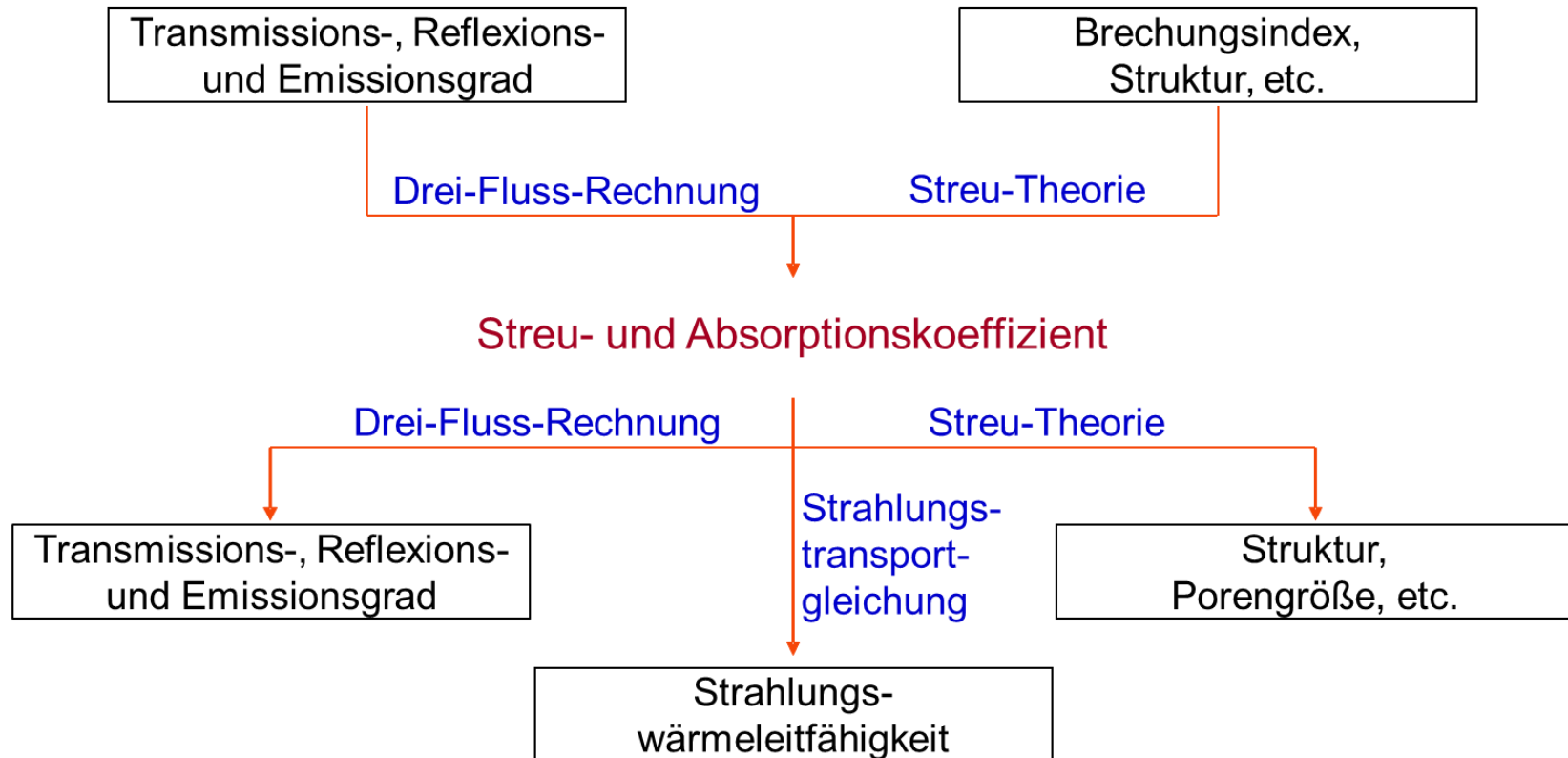


EB-PVD-Beschichtung

INFRAROT-OPTISCHE CHARAKTERISIERUNG: VORGEHEN



Mess- und Modellierungsmöglichkeiten des Strahlungstransports

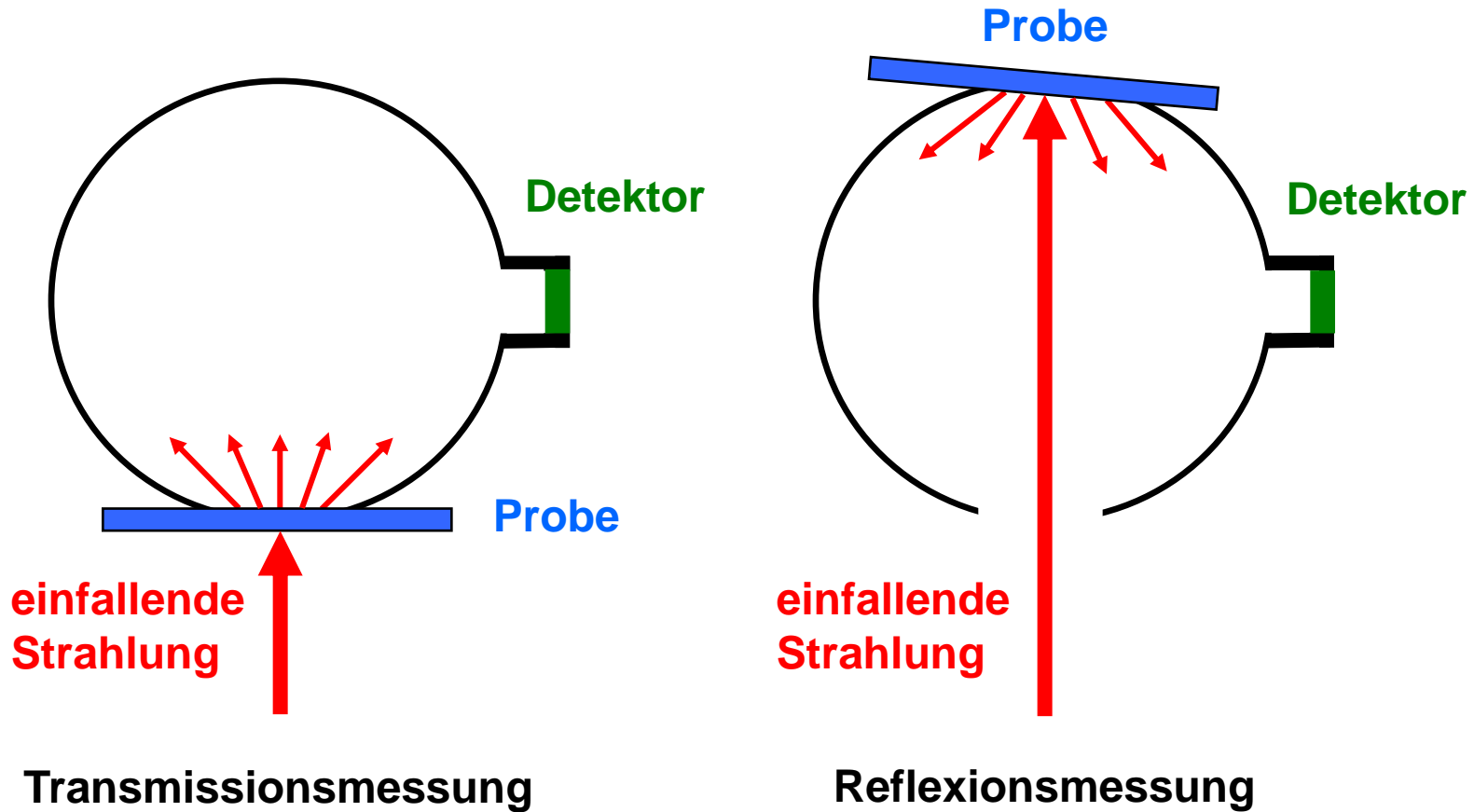


ULBRICHTKUGEL



ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Bestimmung der infrarot-optischen Kenngrößen bei Raumtemperatur

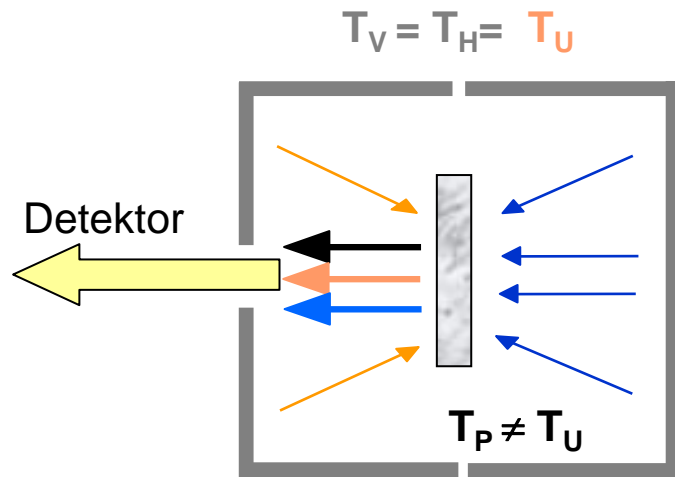


BLACKBODY BOUNDARY CONDITIONS APPARATUR (BBC)

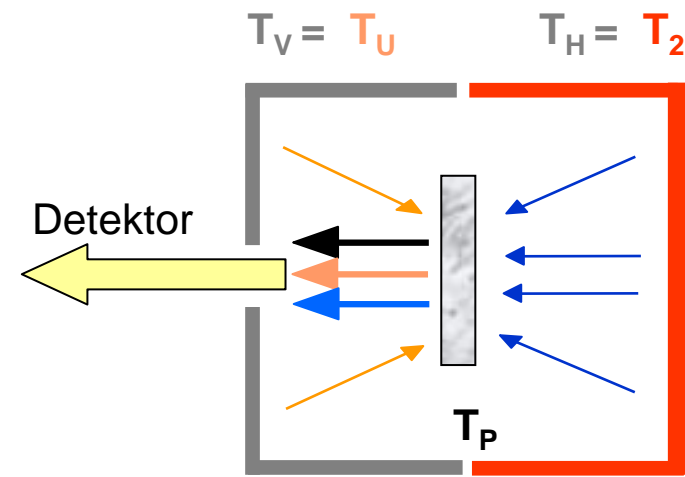


ZAE BAYERN
Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Messung 1



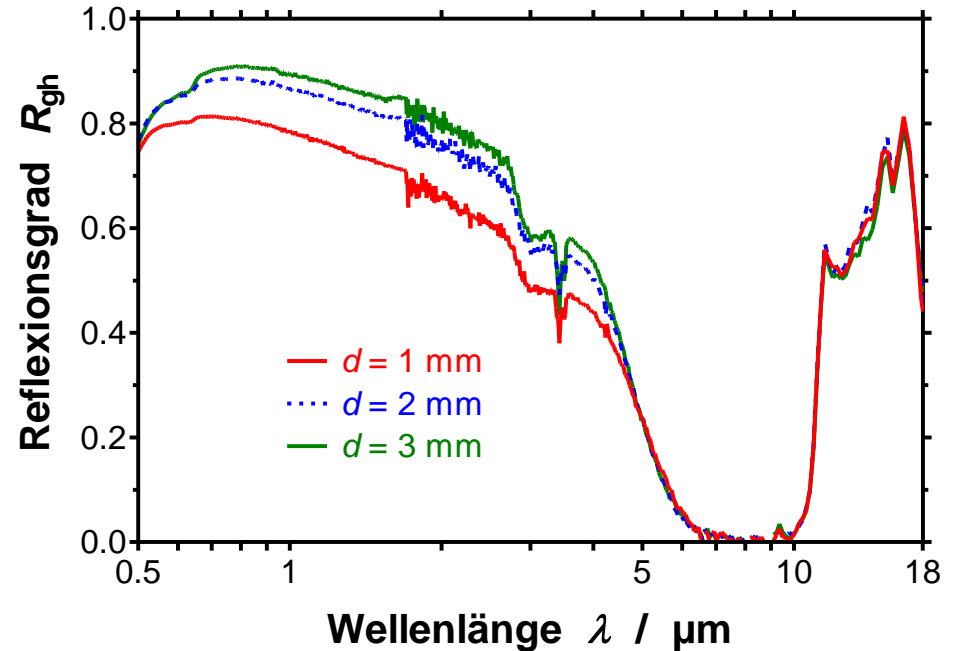
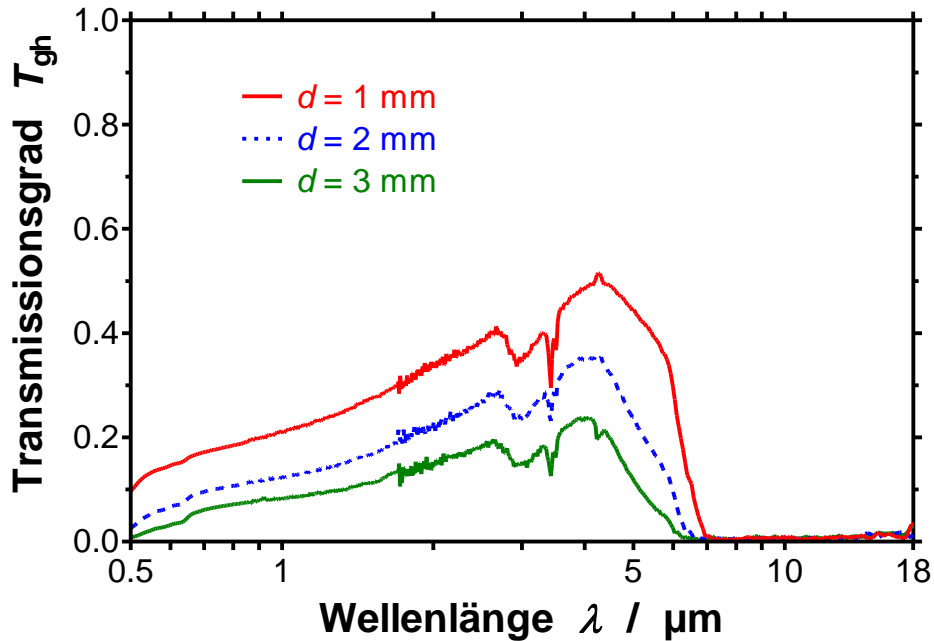
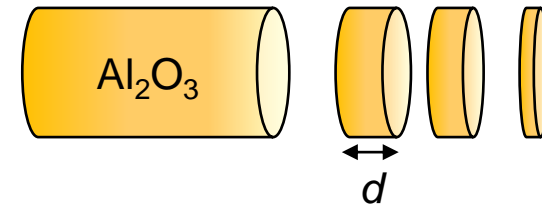
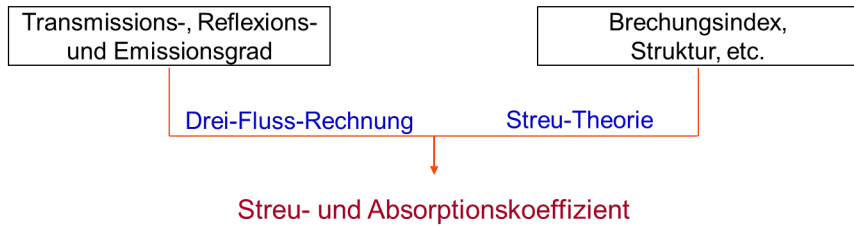
Messung 2



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

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

Charakterisierung von Al_2O_3 mit einer Porosität von $\Pi = 2\%$



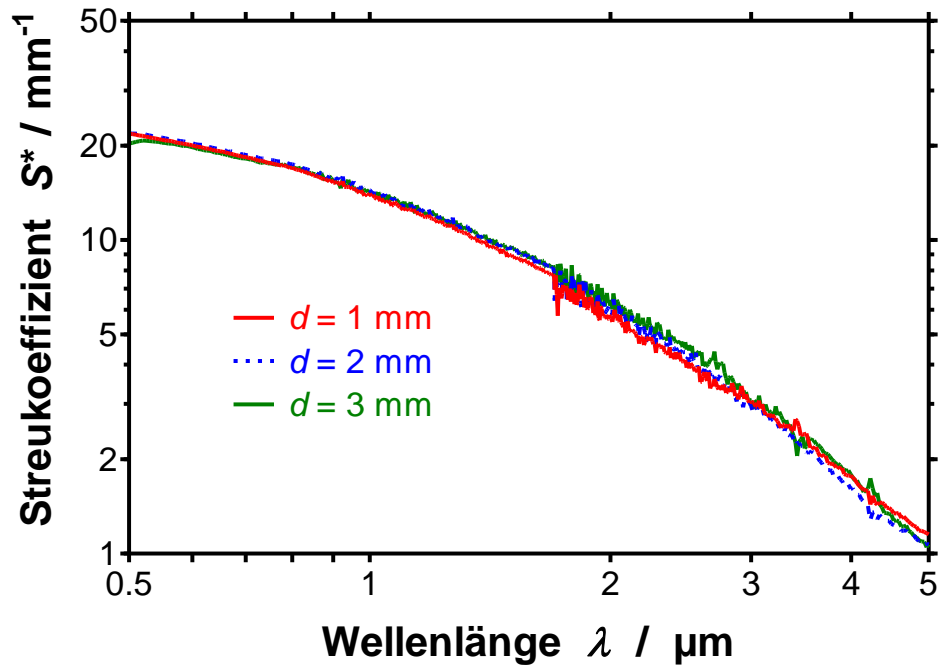
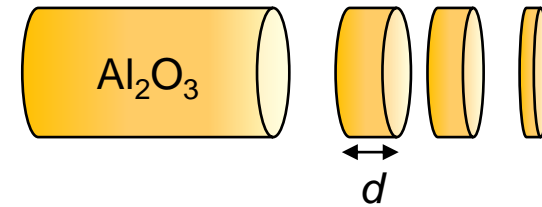
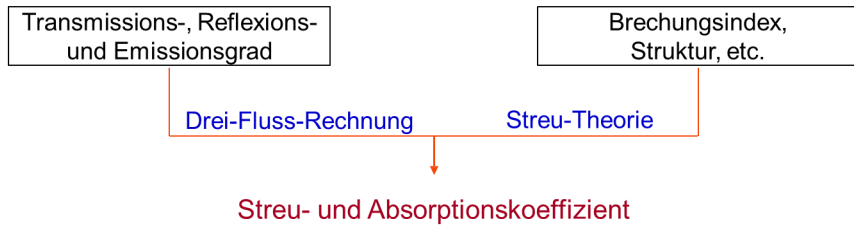
STRUKTURANALYSE



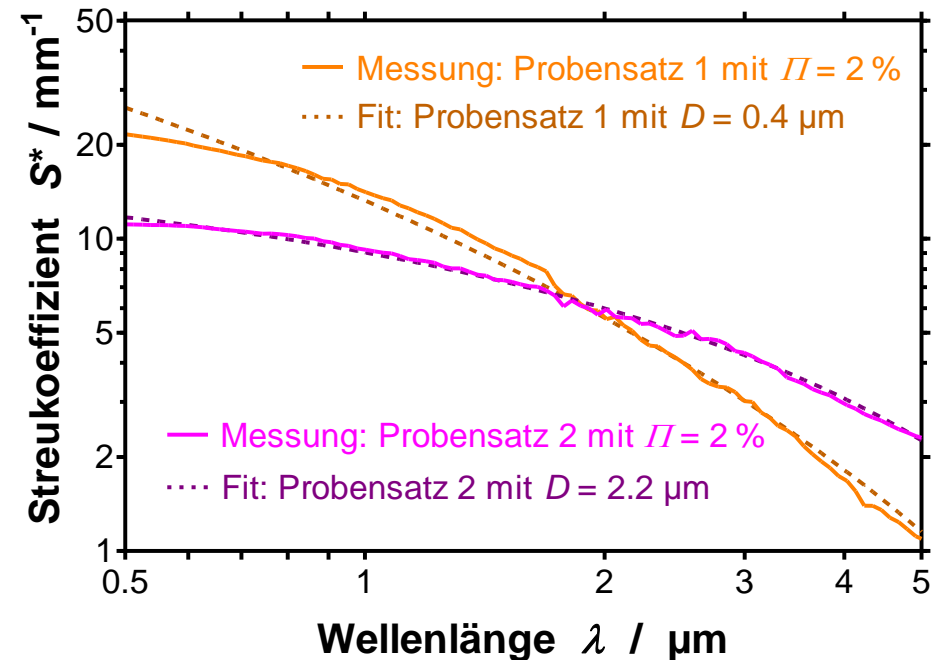
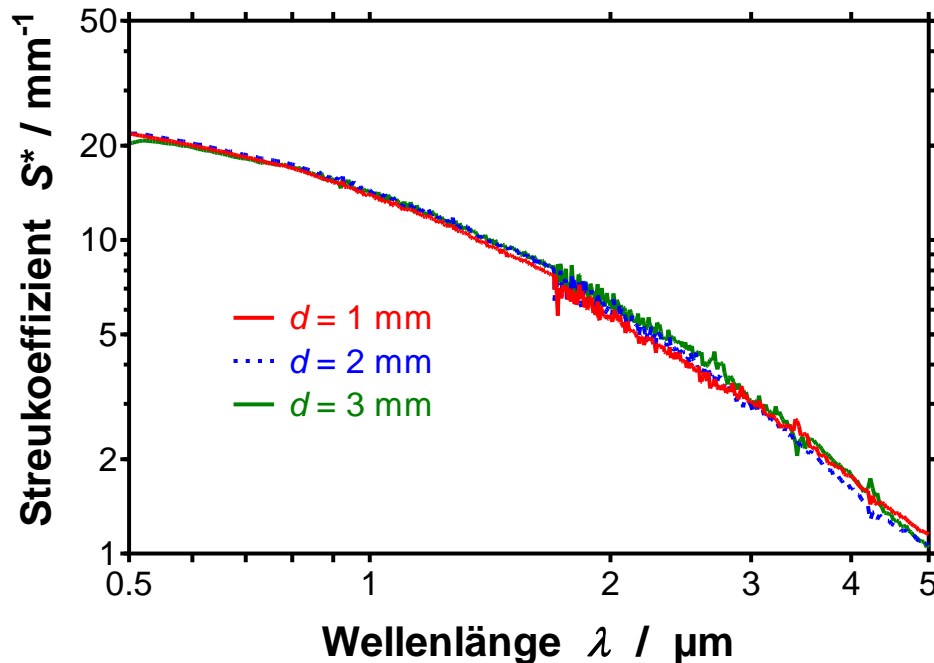
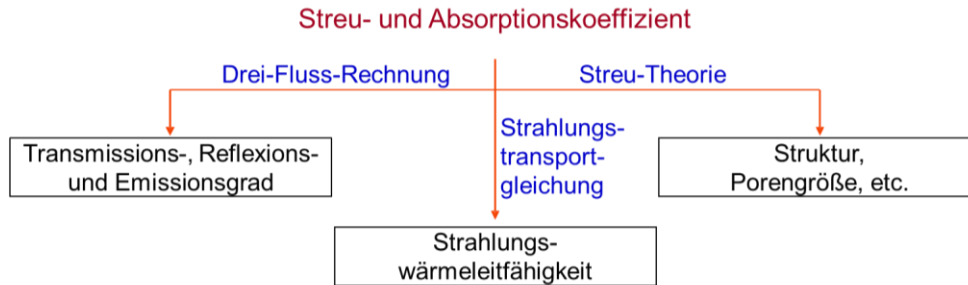
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Charakterisierung von Al_2O_3 mit einer Porosität von $\Pi = 2\%$



Charakterisierung von Al_2O_3 mit einer Porosität von $\Pi = 2\%$



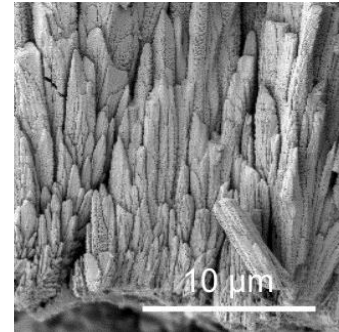
CHARAKTERISIERUNG DES STRAHLUNGSTRANSPORTS



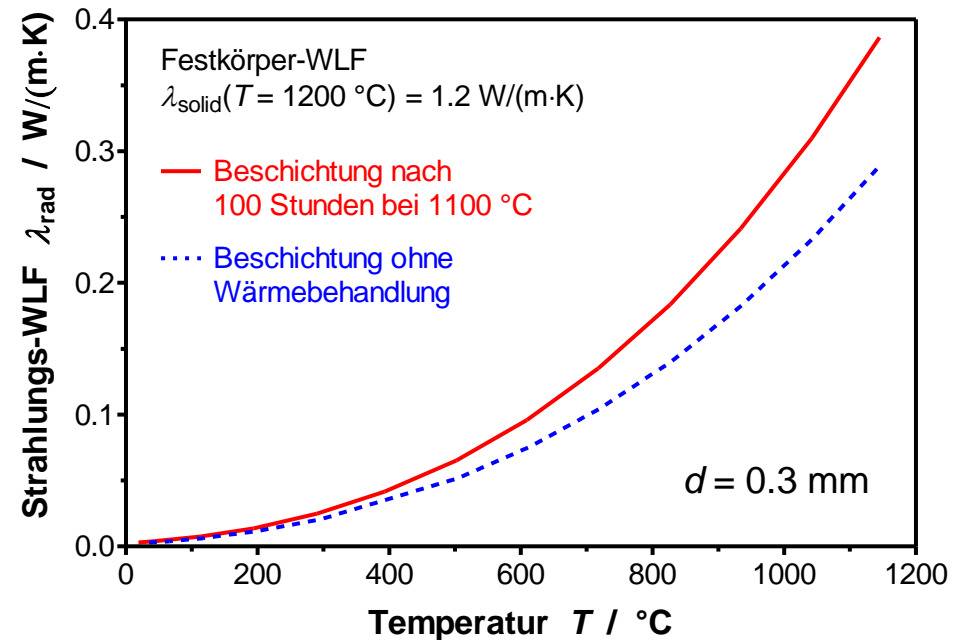
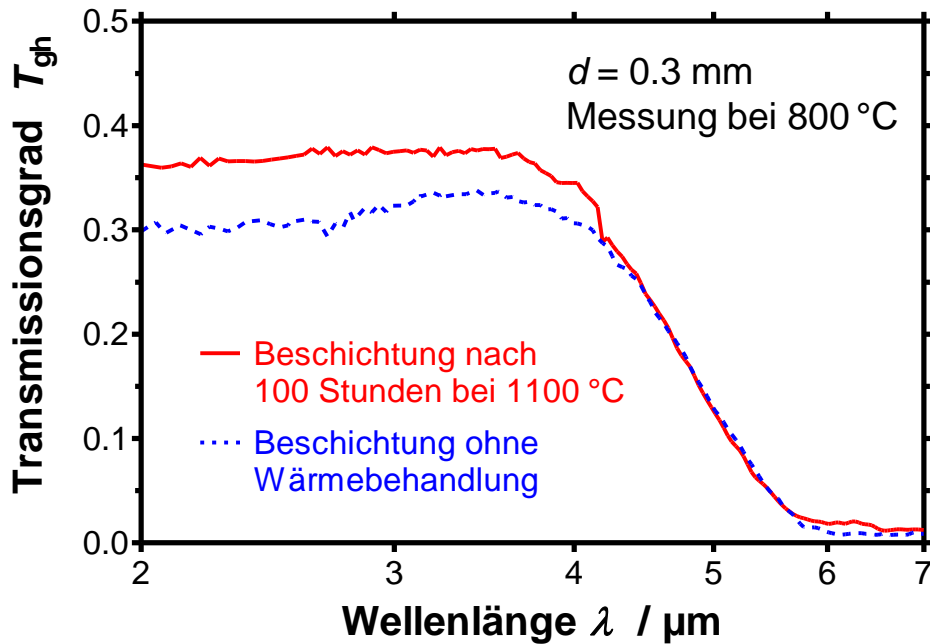
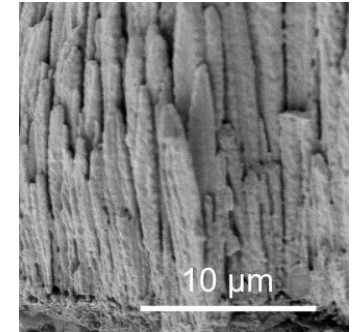
ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Freistehende TBC: Y_2O_3 -teilstabilisiertes ZrO_2 (PYSZ)



Wärme-
behandlung



ERFASSUNG TEMPERATURGRADIENT

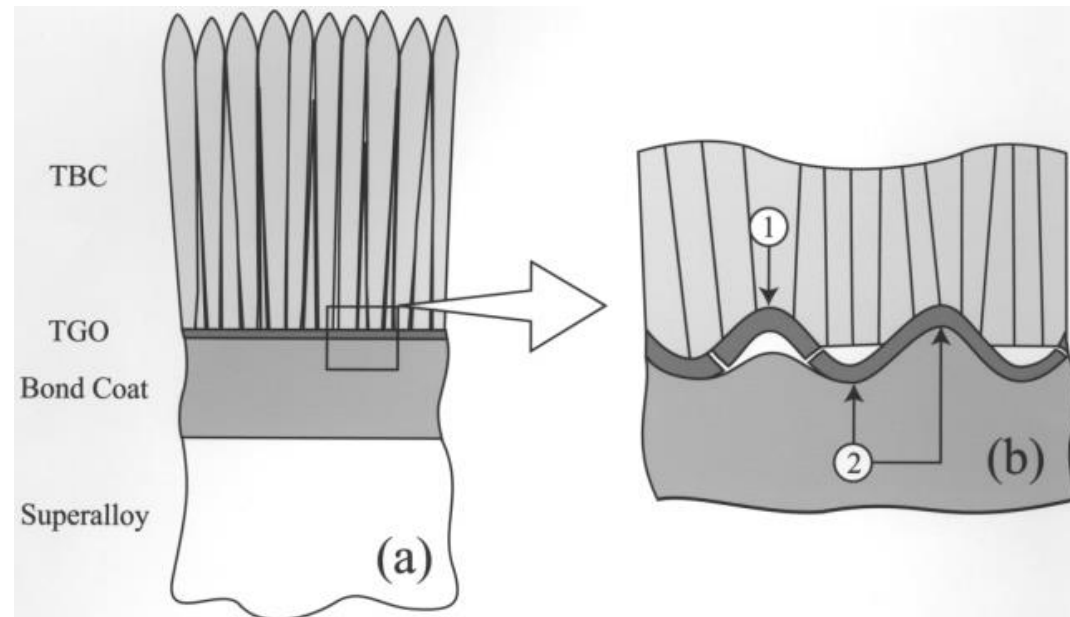


ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

TBC auf Substrat: Strukturänderung durch Delamination

Schichtablösung durch Thermally Grown Oxide (TGO)



J.A. Nychka, D.R. Clarke,
Surface and Coatings Technology,
146-147 (2001) 110-116

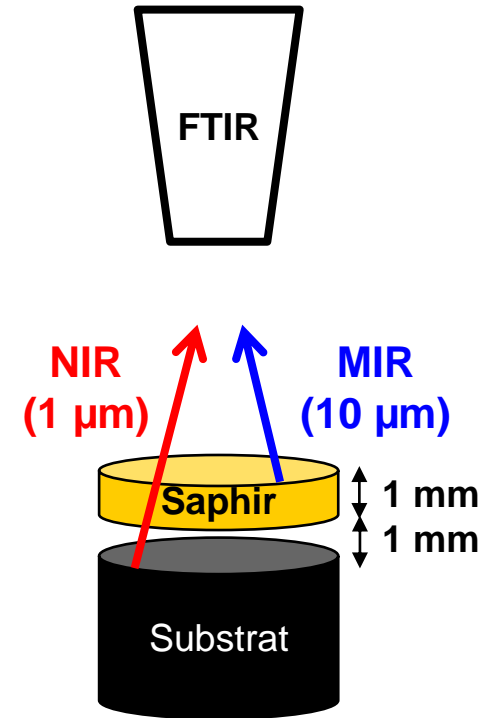
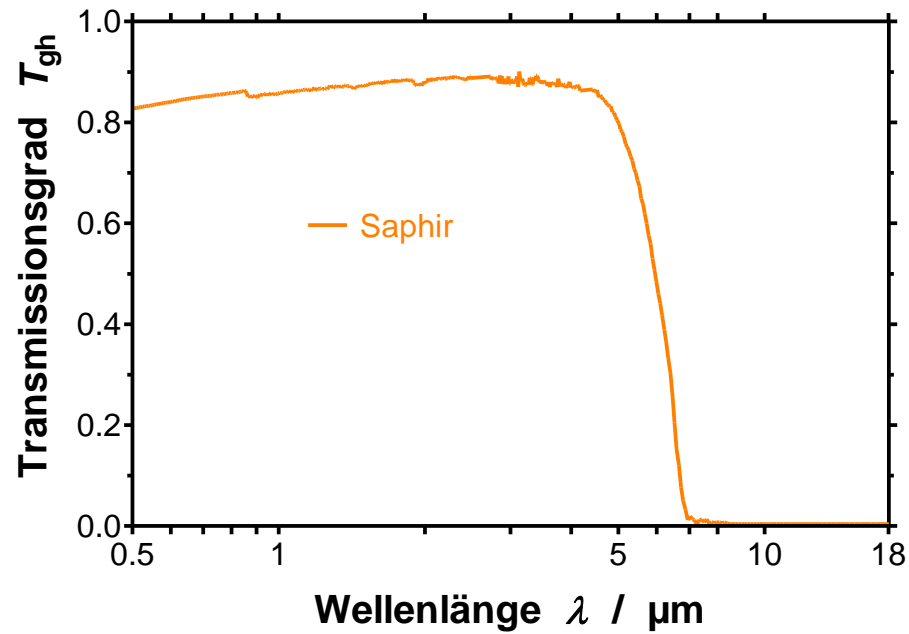
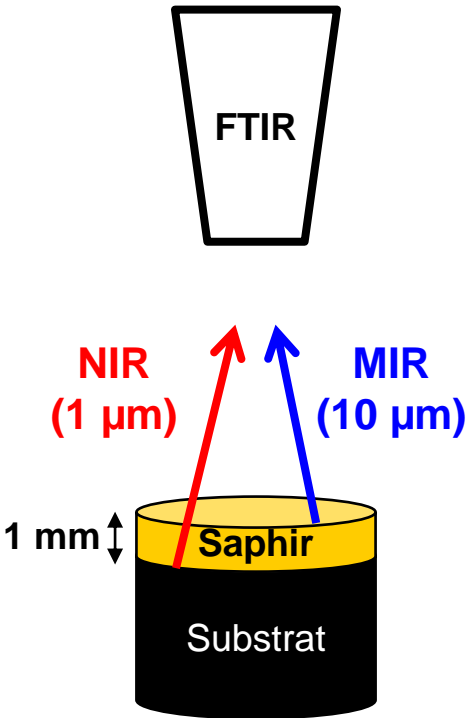
ERFASSUNG TEMPERATURGRADIENT



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Saphir auf Substrat: ohne und mit Spalt



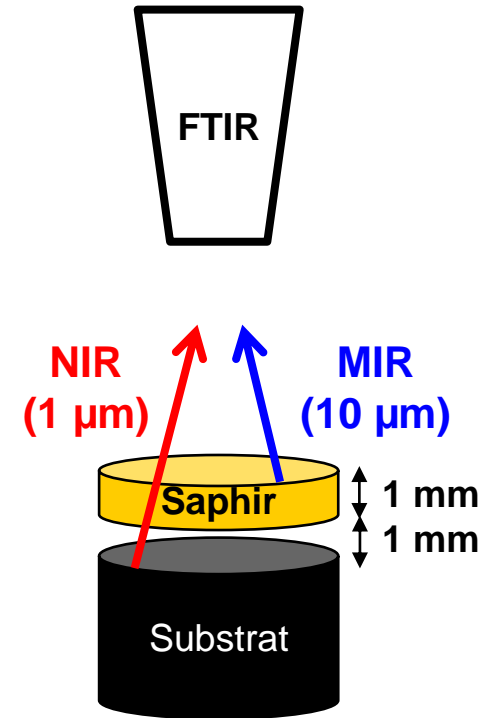
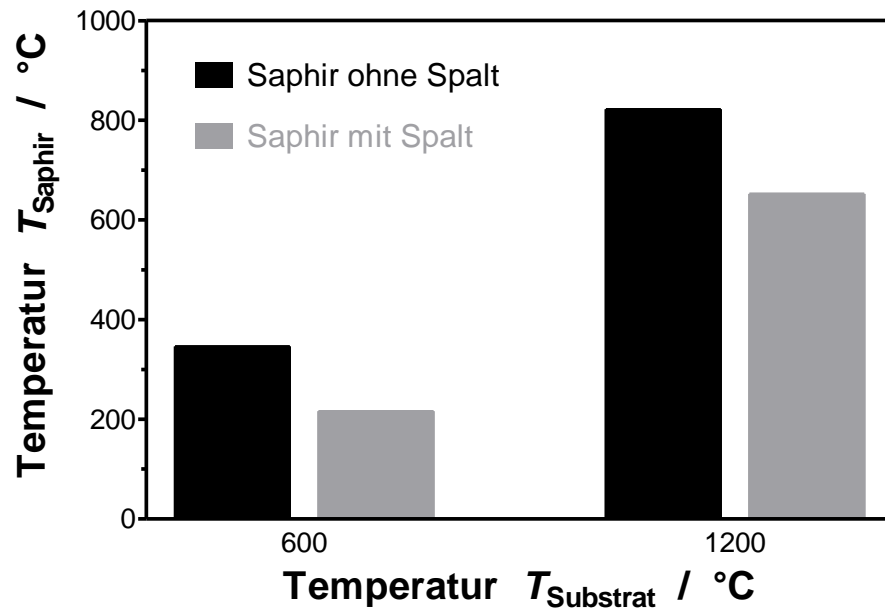
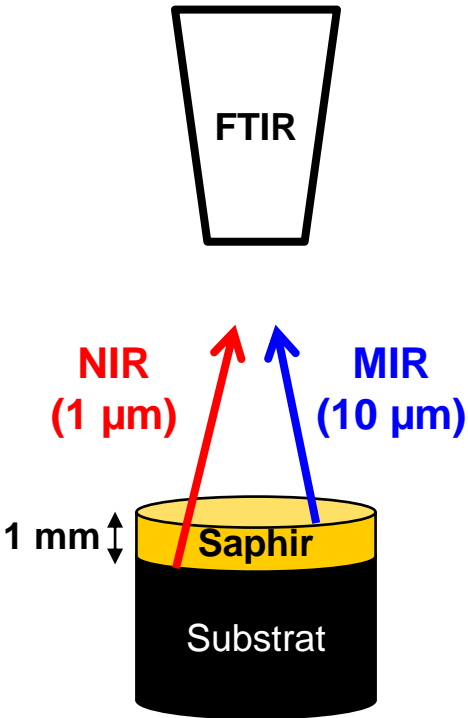
ERFASSUNG TEMPERATURGRADIENT



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung

Saphir auf Substrat: ohne und mit Spalt



Charakterisierung freistehender Schichten:

- infrarot-optische Eigenschaften
 - Apparaturen für Hochtemperaturmessungen
- Struktur bzw. Morphologie
 - Modellierung des Strahlungstransports

Analyse von Schichtsystemen:

- zerstörungsfreie Prüfung bei hohen Temperaturen
- Modellierung von Mehrschichtsystemen

Vielen Dank!

MIT SONNE UND VERSTAND.

© ZAE Bayern

jochen.manara@zae-bayern.de



ZAE BAYERN

Bayerisches Zentrum
für Angewandte
Energieforschung