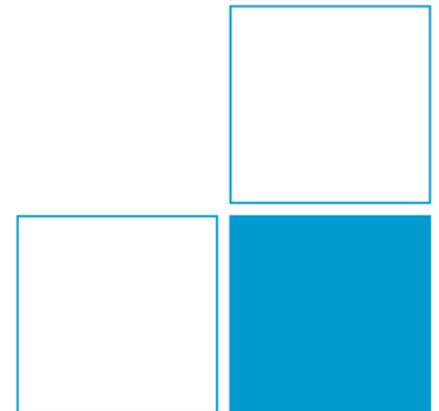


# Phasendifferenz zwischen Emissions- und Reflexionsgradmessungen an semitransparenten Proben im FIR

A. Adibekyan, C. Monte, M. Kehrt, B. Gutschwager, J. Hollandt

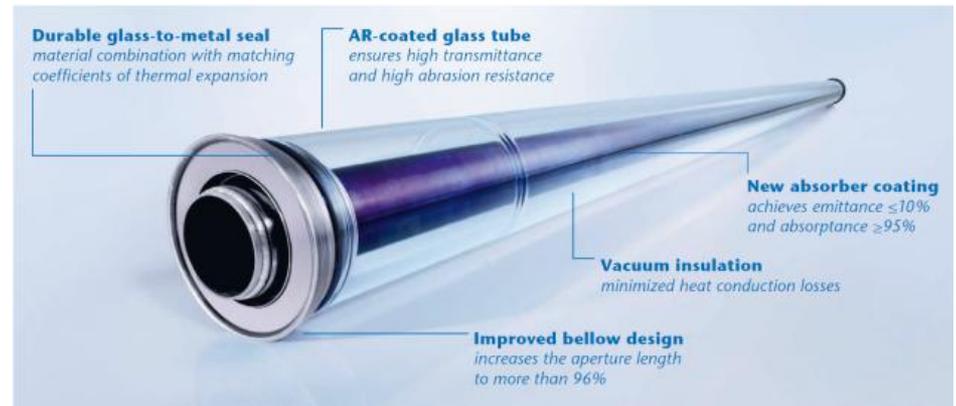


- Motivation für Emissionsgradmessungen unter Vakuum
- Experimentelle Realisierung unter Vakuum
- Beispiele für Emissionsgradmessungen bei langen Wellenlängen
- Beispiele für Emissionsgradmessungen an semitransparenten Schichten
- Ein Erklärungsansatz für die gefundenen Phasendifferenzen
- Zusammenfassung

# Motivation für Emissionsgradmessungen unter Vakuum

## Bestimmung des Emissionsgrades von Absorbern für die solarthermische Stromerzeugung

- Anforderung:
  - **Unsicherheit geringer als 1%**
  - Schwierigkeit: sehr geringe Emissionsgrade im MIR
- Ziele:
  - Verbesserung des Wirkungsgrades
  - Validiertes Messverfahren zur Bestimmung des Emissionsgrades

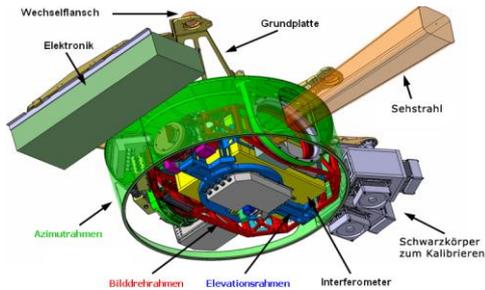


*Kooperation mit SCHOTT Solar*

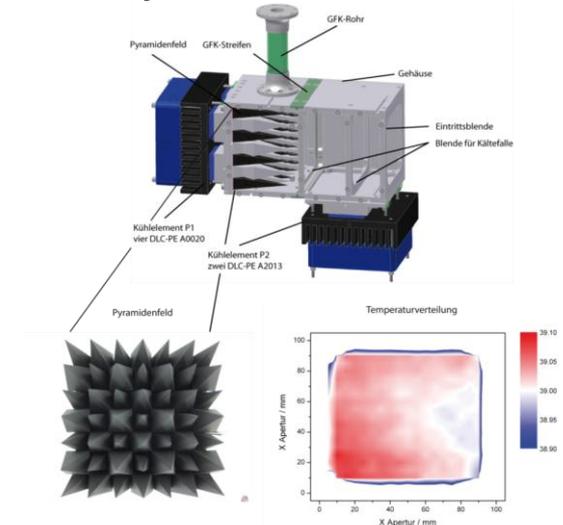
# Motivation für Emissionsgradmessungen unter Vakuum

MIR und FIR Emissionsgradmessungen bis 100  $\mu\text{m}$  für Referenzstrahler für die Fernerkundung

*Limb sounder GLORIA*



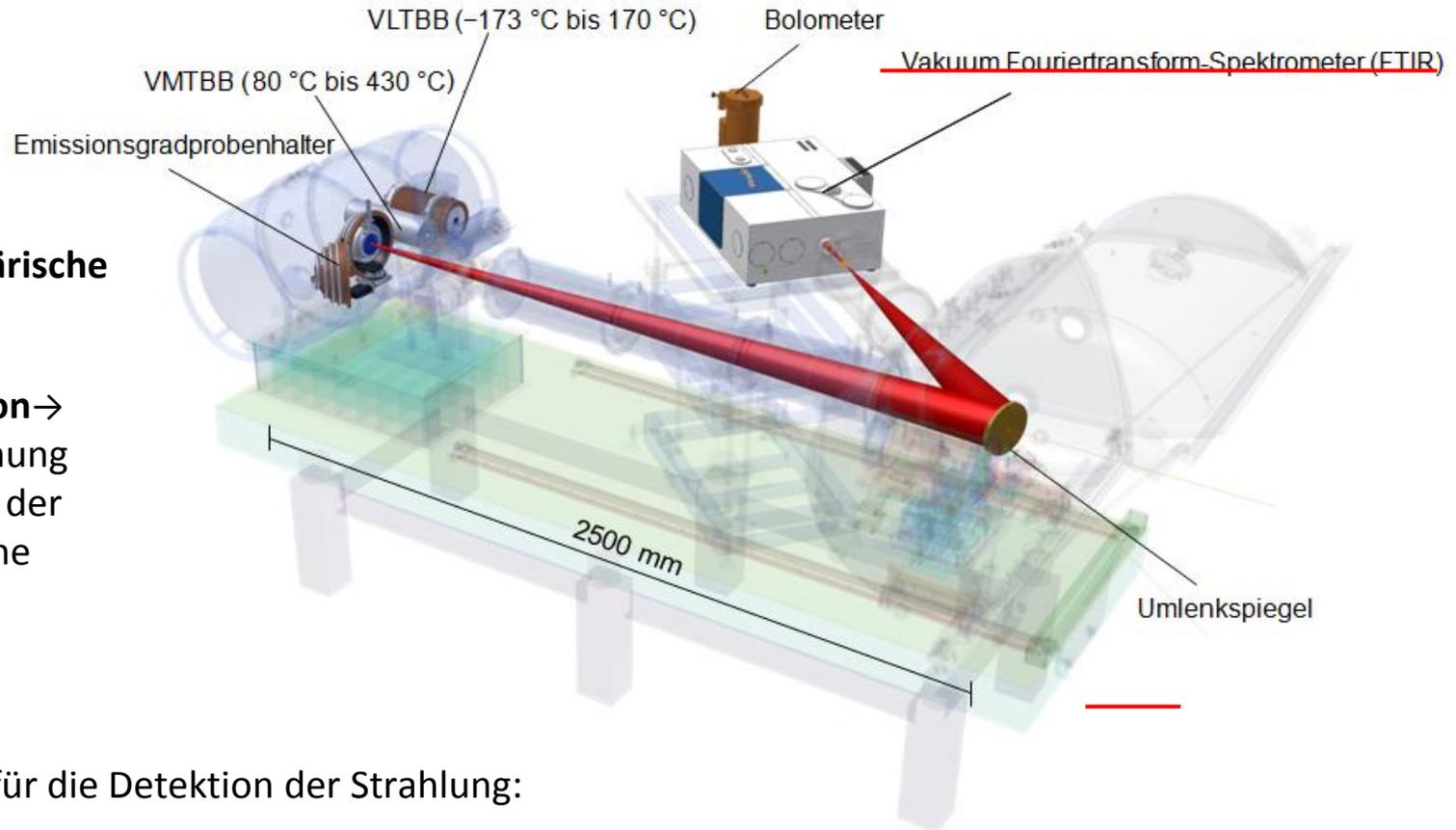
*Referenzstrahler GLORIA*



*Kooperation in den EMRP JRPs  
MetEOC und MetEOC 2*



# Experimentelle Realisierung unter Vakuum: Reduced Background Calibration Facility (RBCF)



✓ **Keine atmosphärische Absorptionen**

✓ **Keine Konvektion** → präzise Bestimmung der Temperatur der Probenoberfläche

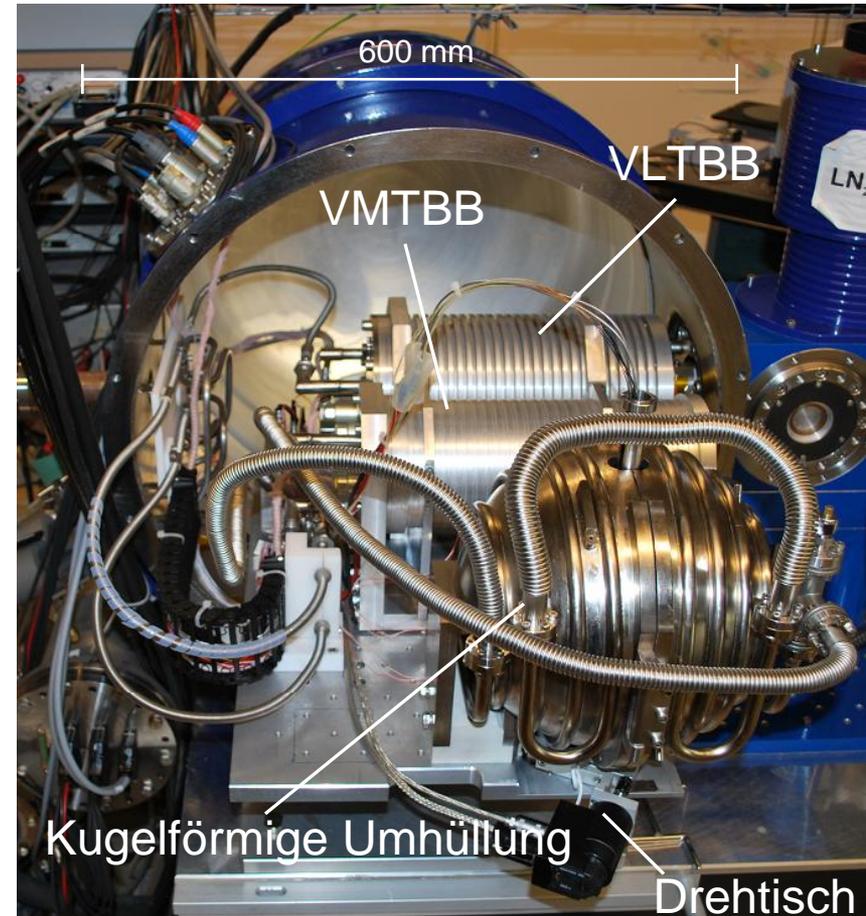
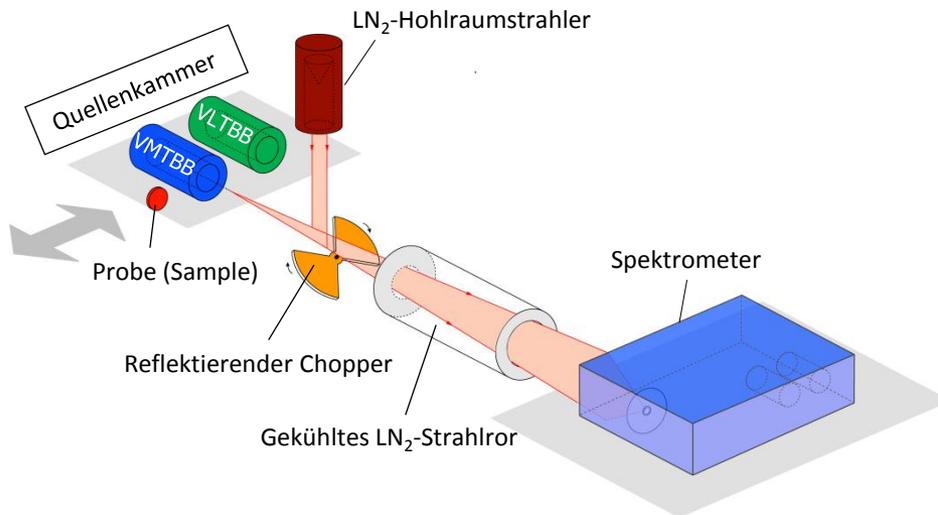
Zwei Schemata für die Detektion der Strahlung:

- Mit dem **Vakuum Infrarot Standardstrahlungsthermometer (VIRST)** → **8  $\mu\text{m}$  bis 14  $\mu\text{m}$**  im Temperaturbereich von  $-170\text{ °C}$  bis  $170\text{ °C}$
- Mit dem **Vakuum Fouriertransform-Spektrometer (FTIR)** → **0.4  $\mu\text{m}$  bis 1400  $\mu\text{m}$**  in Bezug auf die spektrale Strahldichte

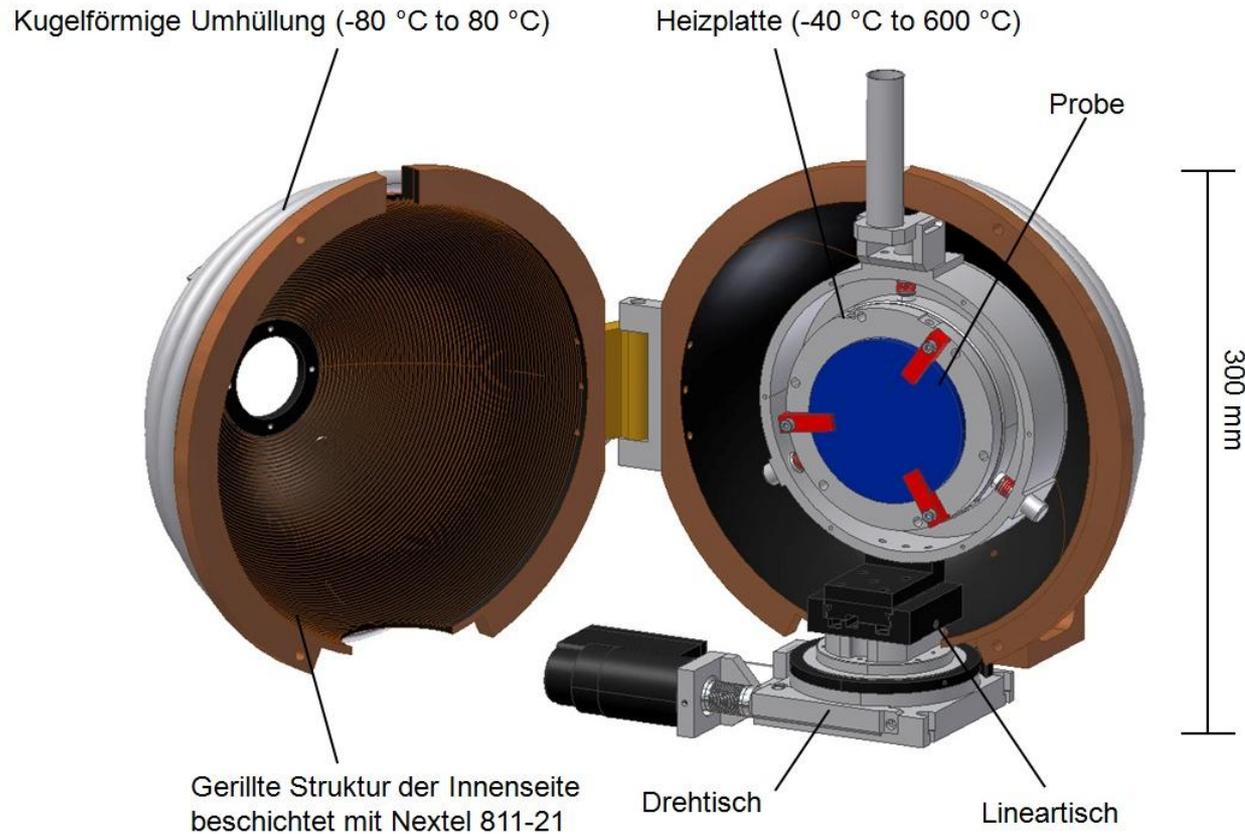
# Emissionsgradmessung unter Vakuum in der PTB

Messung der Strahldichte der Probe in Bezug auf zwei Hohlraumstrahler mit verschiedenen Temperaturen:

$$Q = \frac{\tilde{L}_{\text{Sample}}(T_{\text{Sample}}) - \tilde{L}_{\text{LN}_2\text{BB}}(T_{\text{LN}_2\text{BB}})}{\tilde{L}_{\text{VLTBB or VMTBB}}(T_{\text{VLTBB or VMTBB}}) - \tilde{L}_{\text{LN}_2\text{BB}}(T_{\text{LN}_2\text{BB}})}$$



# Kugelförmige Umhüllung und Probenhalter

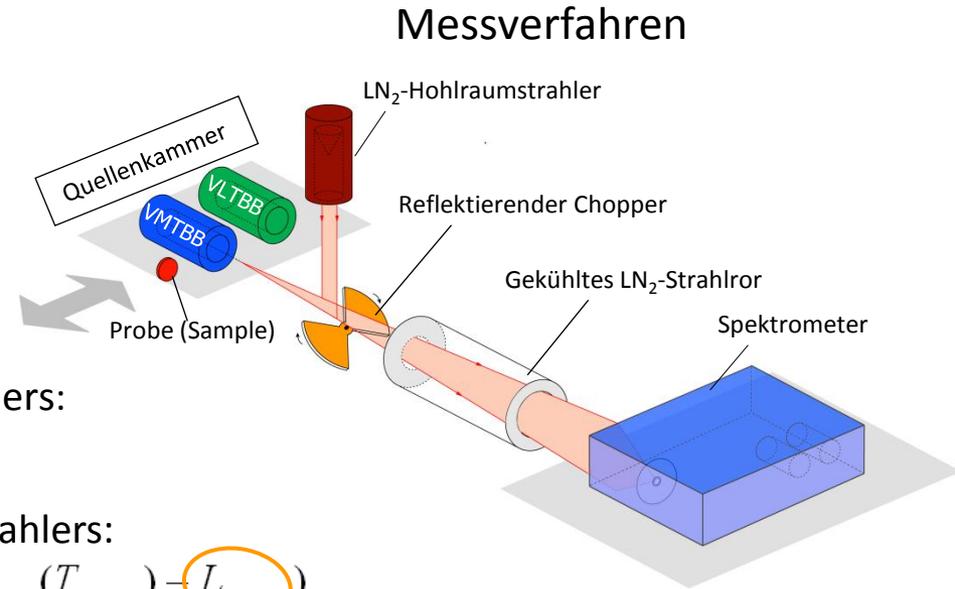


## Wert des gerichteten spektralen Emissionsgrades der Innenseite der Kugel ist wichtig für:

- Berechnung der Strahlung die von der Umhüllung auf die Probe fällt.
- Reduzierung von Mehrfachreflektionen zwischen Probe und Umhüllung.

# Berechnung des Emissionsgrades

$$Q = \frac{\tilde{L}_{\text{Sample}}(T_{\text{Sample}}) - \tilde{L}_{\text{LN}_2\text{BB}}(T_{\text{LN}_2\text{BB}})}{\tilde{L}_{\text{VLTBB or VMTBB}}(T_{\text{VLTBB or VMTBB}}) - \tilde{L}_{\text{LN}_2\text{BB}}(T_{\text{LN}_2\text{BB}})}$$



Gemessenes Signal eines Vakuumhohlraumstrahlers:

$$\tilde{L}_{\text{BB}}(T_{\text{BB}}) = s \cdot (L_{\text{BB}}(T_{\text{BB}}) + L_{\text{Background}} - L_{\text{Detector}})$$

Gemessenes Signal des LN<sub>2</sub>-Referenzhohlraumstrahlers:

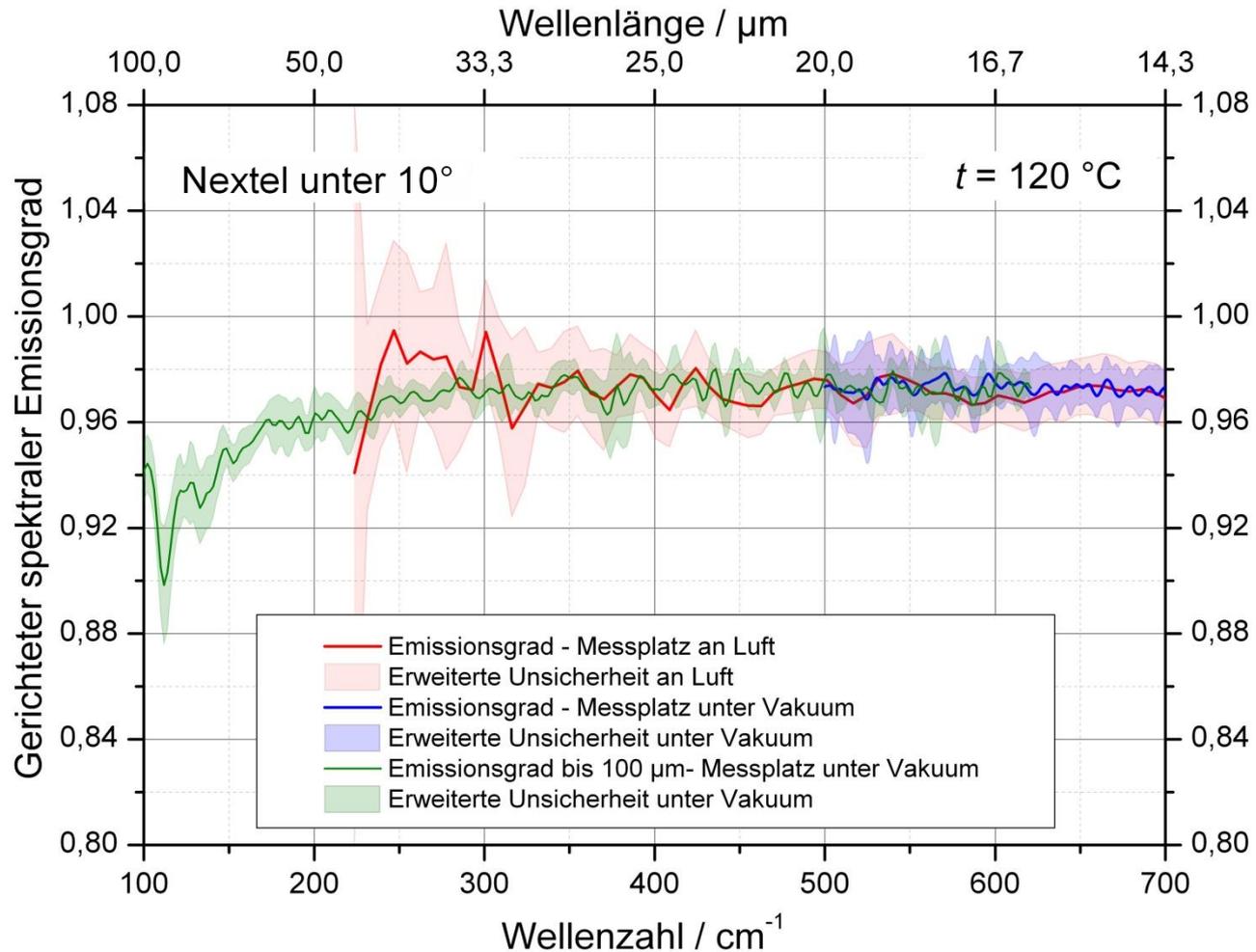
$$\tilde{L}_{\text{BB-LN}_2}(T_{\text{BB-LN}_2}) = s \cdot (\rho_{\text{Chopper}} L_{\text{BB-LN}_2}(T_{\text{BB-LN}_2}) + L_{\text{Background}} + L_{\text{Chopper}}(T_{\text{Chopper}}) - L_{\text{Detector}})$$

Gemessenes Signal einer Probe:

$$\tilde{L}_{\text{Sample}}(T_{\text{Sample}}) = s \cdot (\varepsilon_{\text{Sample}} L_{\text{Sample}}(T_{\text{Sample}}) + \varepsilon_{\text{Encl}} L_{\text{Encl}}(T_{\text{Encl}}) \rho_{\text{Sample}} \sum \sum \dots + L_{\text{Background}} + \varepsilon_{\text{S. Hem}} L_{\text{Sample}}(T_{\text{Sample}}) \rho_{\text{Encl}} \rho_{\text{Sample}} \sum \sum \dots - L_{\text{Detector}})$$

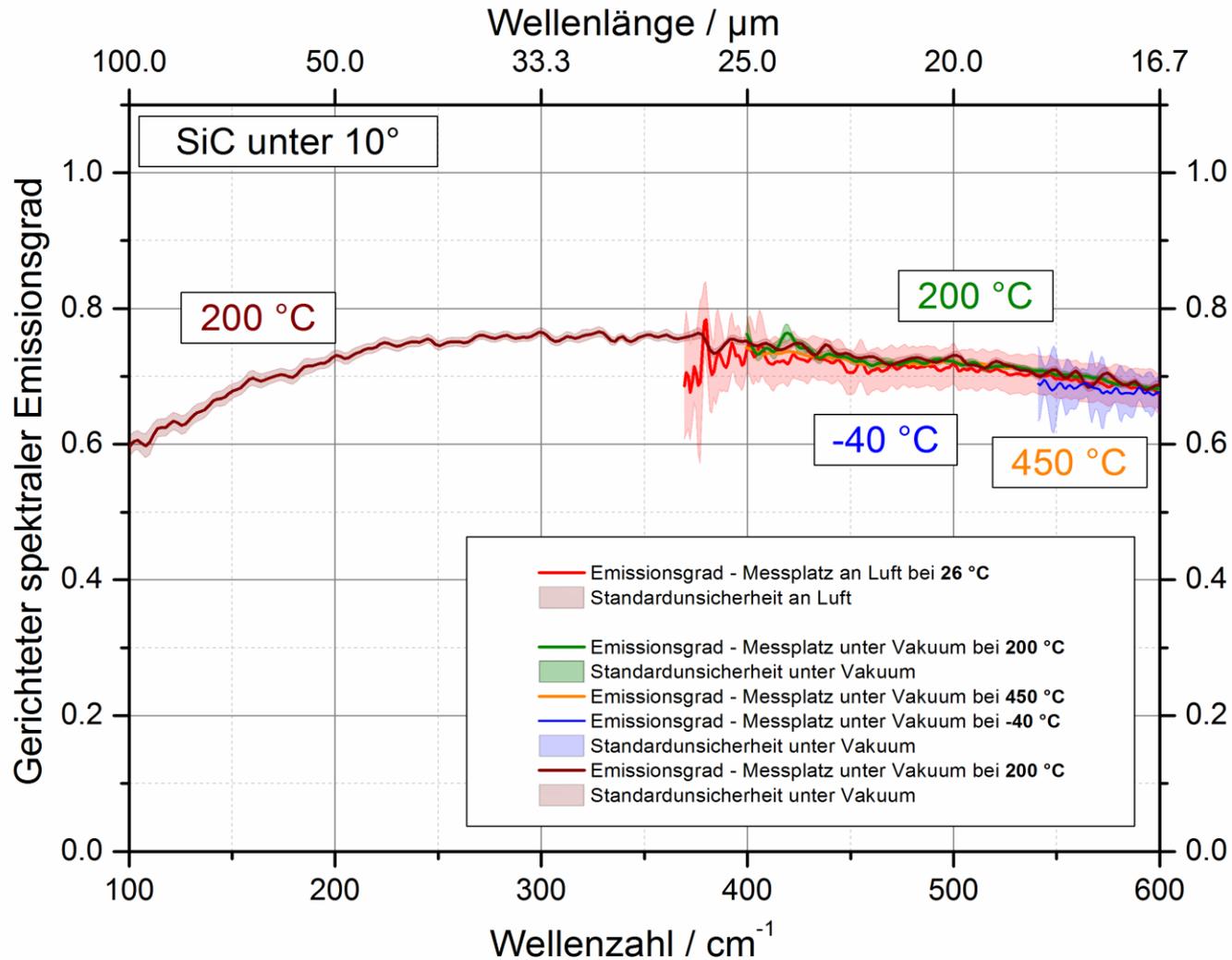
**Eigenstrahlung und spektrale Empfindlichkeit des Spektrometers und Hintergrundstrahlung können eliminiert werden**

# Emissionsgradmessungen unter Vakuum: Nextel



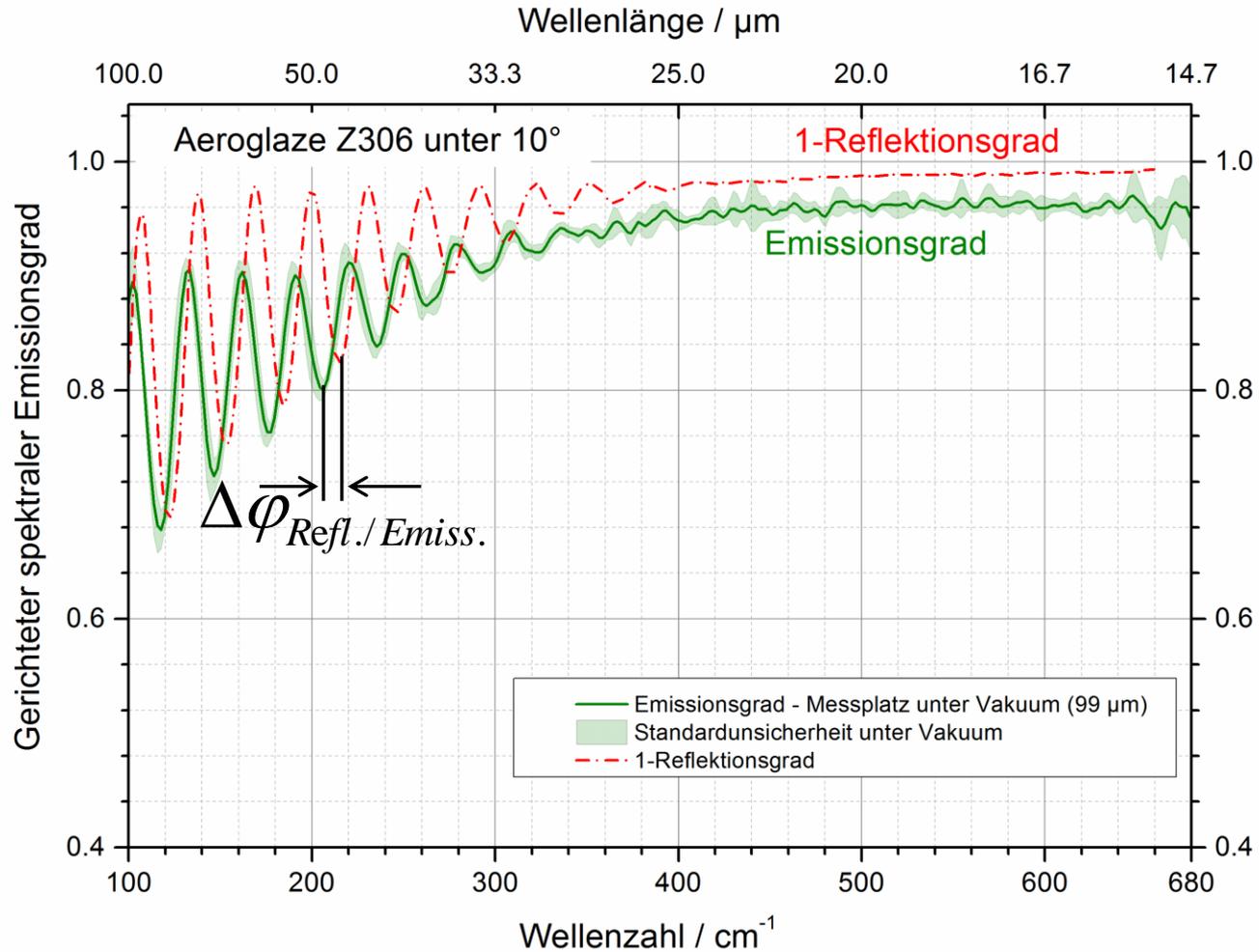
• **Konsistente Messung bis zu  $100\ \mu\text{m}$**

# Emissionsgradmessungen unter Vakuum: Siliziumcarbid



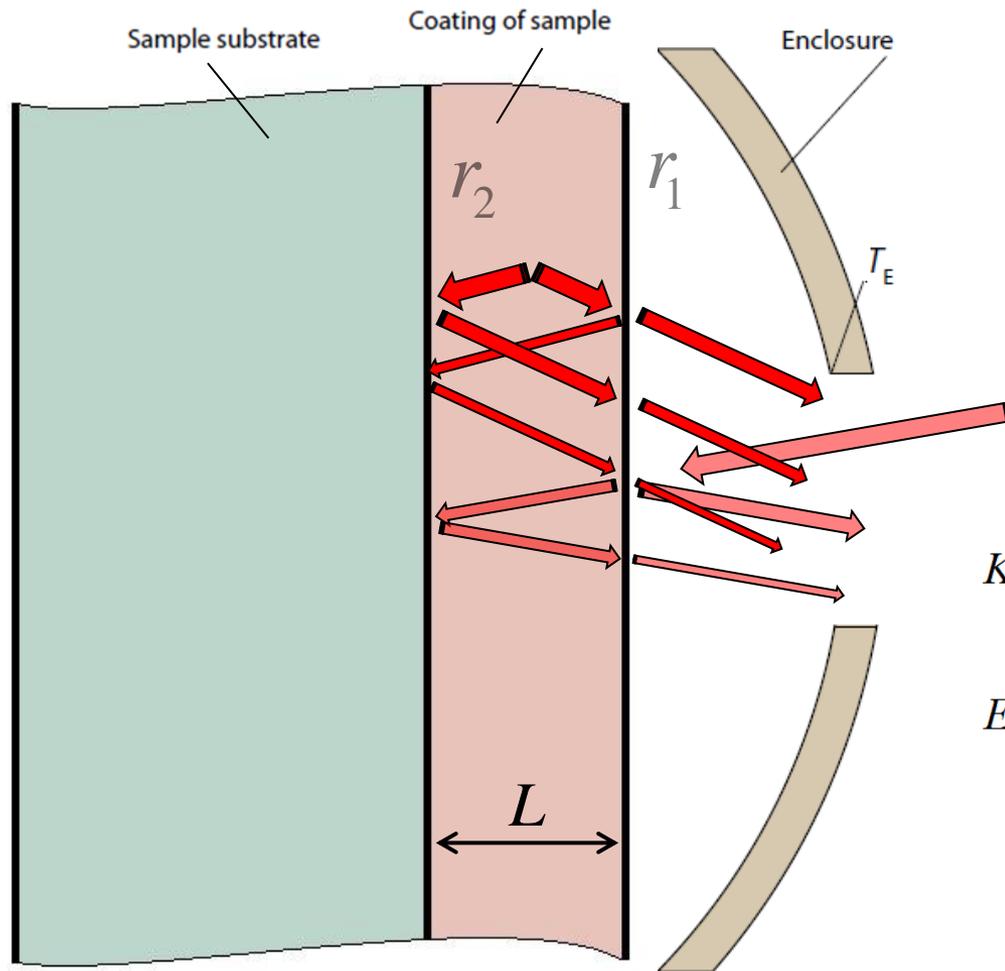
• **Konsistente Messung bis zu  $100\ \mu\text{m}$**

# Emissionsgradmessung unter Vakuum: Aeroglaze Z306



- **Phasenverschiebung zwischen Reflektions- und Emissionsgrad bei Auftreten von Mehrstrahlinterferenz**

# Mehrstrahlinterferenz in dünnen Schichten mit der optischen Dicke $< 1$



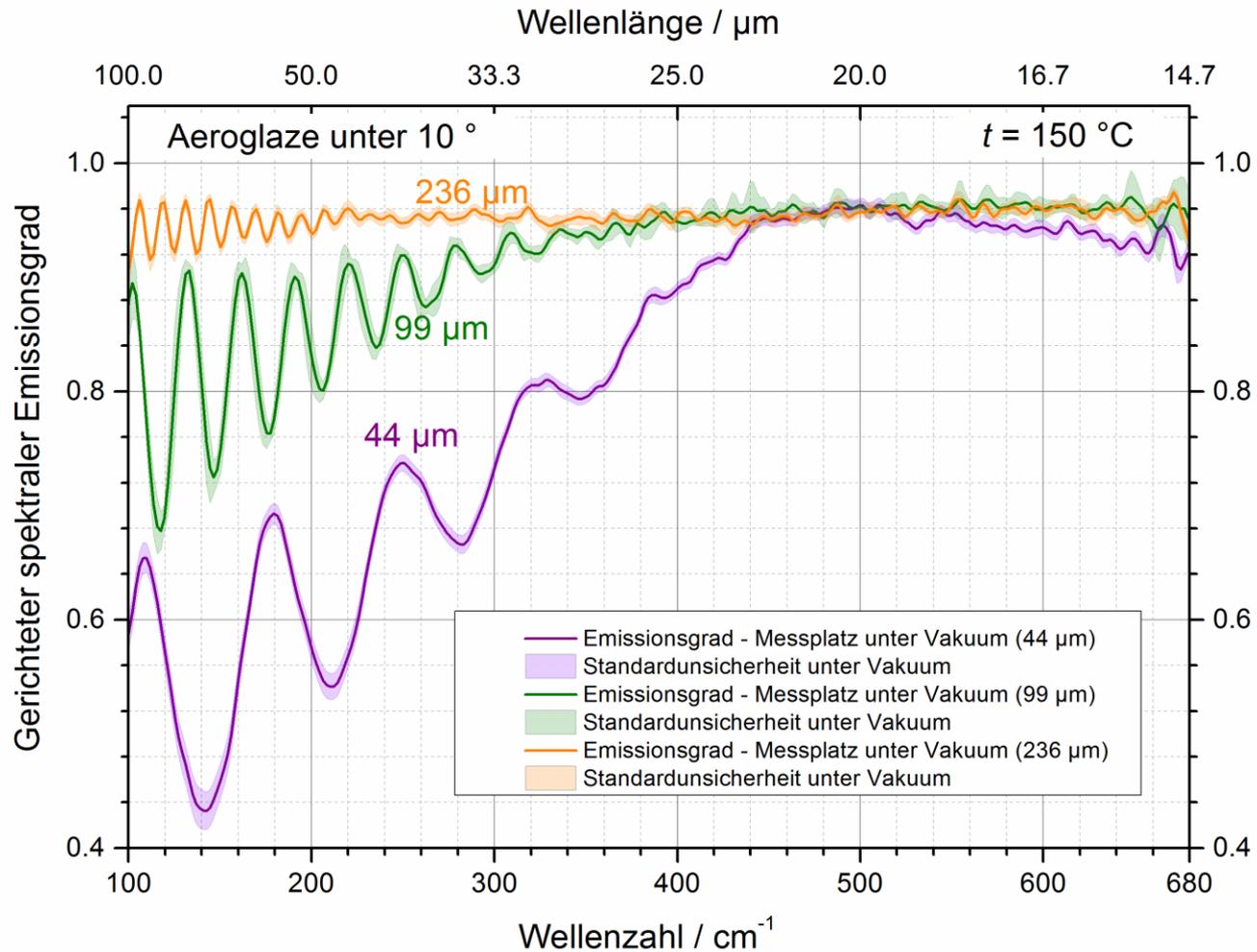
$$R = \frac{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1r_2 \cos\left(\frac{4\pi nL}{\lambda}\right)}{1 + r_1^2r_2^2 + 2r_1r_2 \cos\left(\frac{4\pi nL}{\lambda}\right)}$$

$$K = \frac{t_1^2 \left( L + r_2^2 L + r_2 \lambda \sin\left(\frac{4\pi nL}{\lambda}\right) / 2n\pi \right)}{1 + r_1^2r_2^2 - 2r_1r_2 \cos\left(\frac{4\pi nL}{\lambda}\right)}$$

Emissionsgrad  $\sim K$

• Für dünne Schicht:  $\varepsilon(\mathcal{G}) \neq 1 - \rho(\mathcal{G})$

# Emissionsgradmessung unter Vakuum: Aeroglaze Z306



Die PTB bestimmt den *gerichteten spektralen Emissionsgrad*, den *Gesamtemissionsgrad* und den *hemisphärischen Gesamtemissionsgrad* unter Vakuum und an Luft:

	<b>Luft</b>	<b>Vakuum</b>
– Temperaturbereich:	20 °C bis 500 °C	-40 °C bis 600 °C
– Beobachtungswinkel :	±80°	±80°
– Wellenlängenbereich :	2.5 µm bis 25 µm	2.5 µm bis 100 µm

- Low- $\epsilon$ -Proben können durch Berücksichtigung der Mehrfachreflektionen gemessen werden
- Phasendifferenzen zwischen Reflektions- und Emissionsgradmessung an semitransparenten Proben können mit Mehrstrahlinterferenz erklärt werden

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin**

Abbestrasse 2-12

10587 Berlin



Albert Adibekyan

Arbeitsgruppe 7.32 Infrarot-Strahlungsthermometrie



Telefon: +49 30 3481-7771

E-Mail: [albert.adibekyan@ptb.de](mailto:albert.adibekyan@ptb.de)

[www.ptb.de](http://www.ptb.de)