

# Emissionsgradmessungen unter Vakuum an der PTB im Temperaturbereich von -40 °C bis 500 °C und Wellenlängenbereich von 4 $\mu\text{m}$ bis 100 $\mu\text{m}$

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

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) Braunschweig und Berlin  
AG 7.32 Infrarotstrahlungsthermometrie, D-10587 Berlin, Germany

- Motivation für Emissionsgradmessungen unter Vakuum
- Experimentelle Realisierung unter Vakuum
- Vergleichsmessungen der zwei Vakuumhohlraumstrahler
- Aufbau des Probenhalters
- Mehrfachreflektionen und Berechnung des Emissionsgrades
- Emissionsgradmessungen unter Vakuum
- Zusammenfassung

## 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

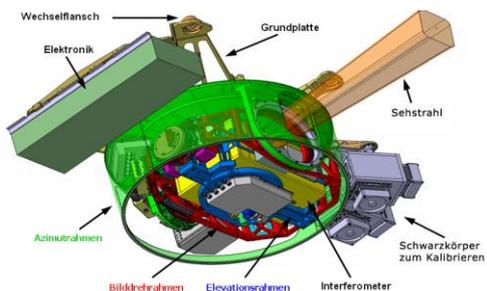


*Kooperation mit SCHOTT Solar*

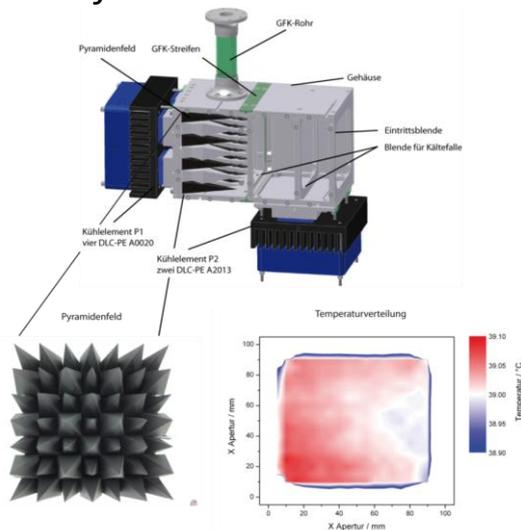
# Motivation für Emissionsgradmessungen unter Vakuum

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

*Limb sounder GLORIA*

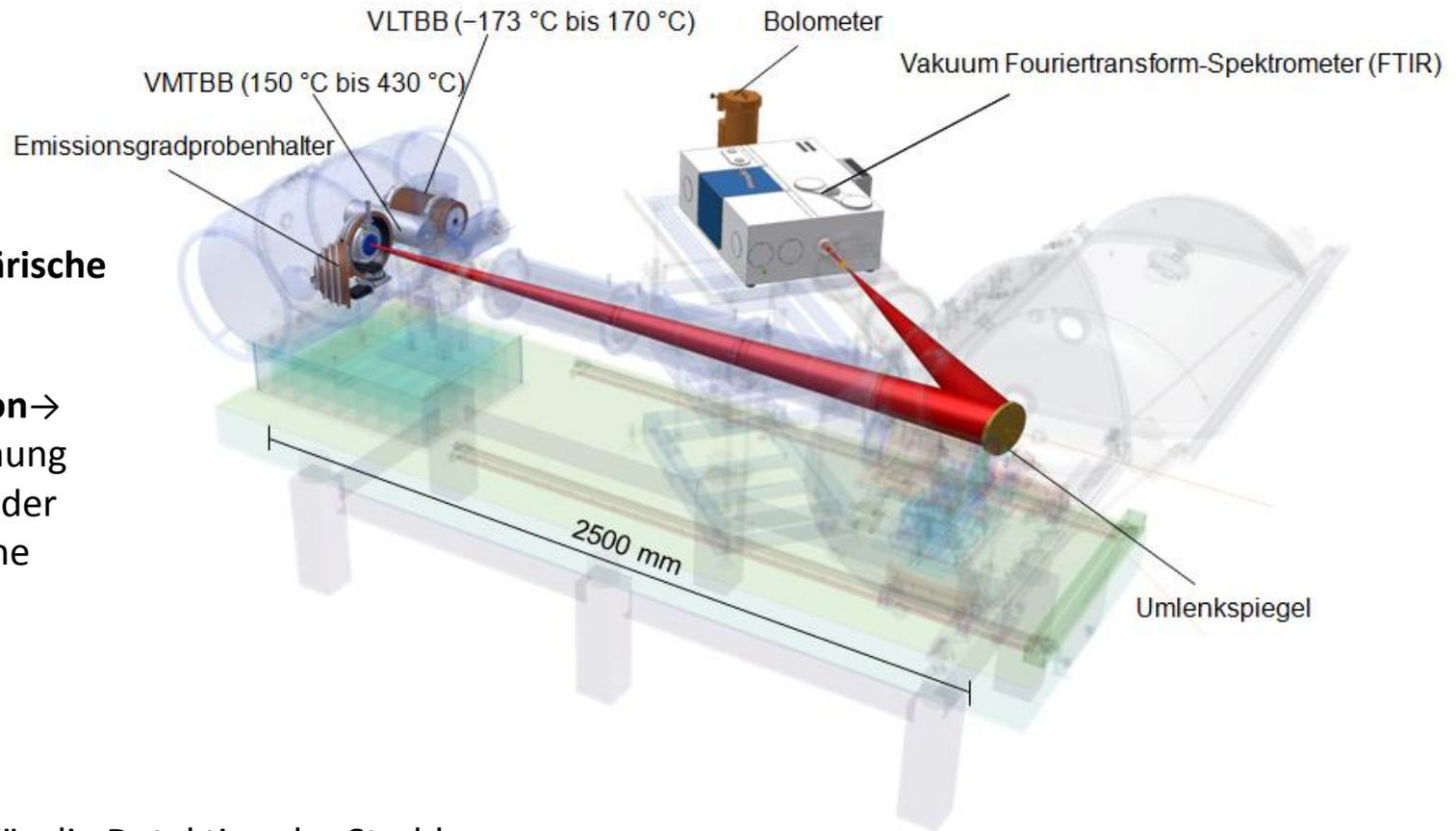


*Referenzstrahler GLORIA*



*Kooperation im EMRP JRP MetEOC*

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

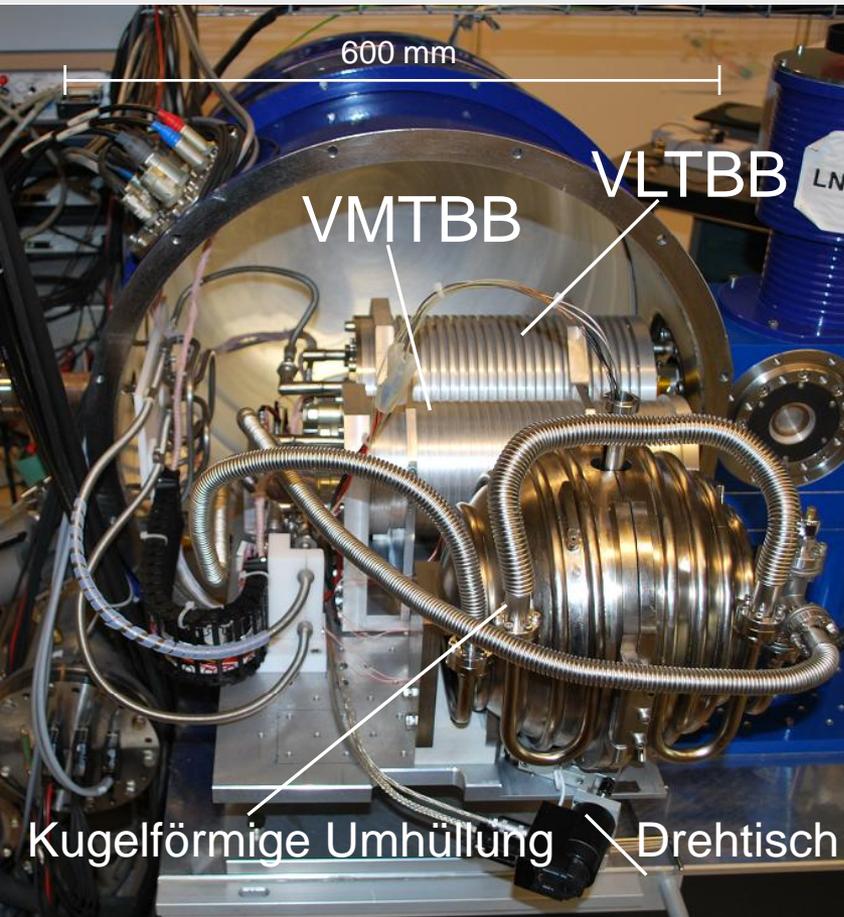


✓ **Keine atmosphärische Absorptionen**

✓ **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  $\mu\text{m}$**  (1250  $\text{cm}^{-1}$  bis 716  $\text{cm}^{-1}$ ) im Temperaturbereich von -170 °C bis 170 °C
- Mit dem **Vakuum Fouriertransform-Spektrometer (FTIR)** → **0.4  $\mu\text{m}$  bis 1400  $\mu\text{m}$**  (25000  $\text{cm}^{-1}$  bis 7.1  $\text{cm}^{-1}$ ) in Bezug auf die spektrale Strahldichte



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

$$Q = \frac{\tilde{L}_{\text{Sample}}(T_{\text{Sample}}) - \tilde{L}_{\text{BB1}}(T_{\text{BB1}})}{\tilde{L}_{\text{BB2}}(T_{\text{BB2}}) - \tilde{L}_{\text{BB1}}(T_{\text{BB1}})}$$

- Voraussetzung für die Emissionsgradmessung ist die Konsistenz der Referenz-Hohlraumstrahler

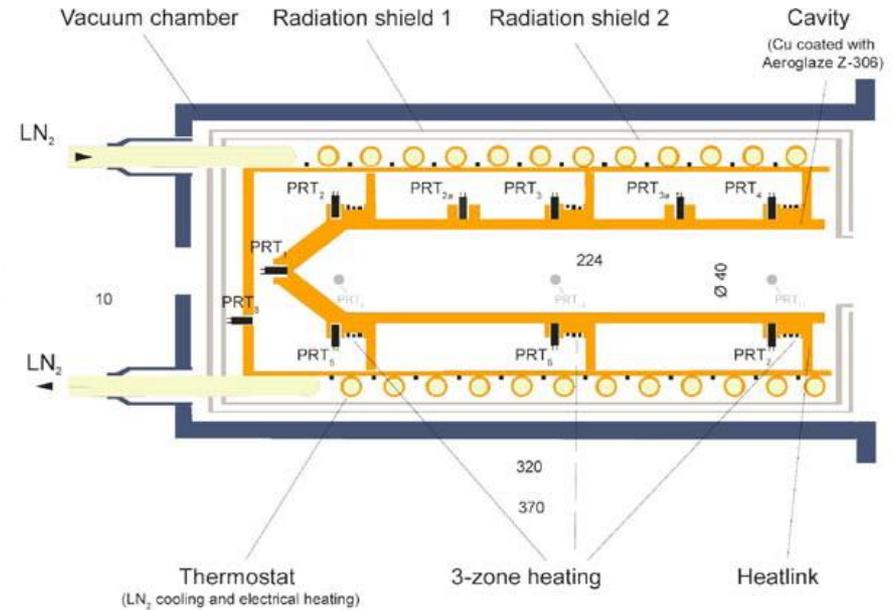
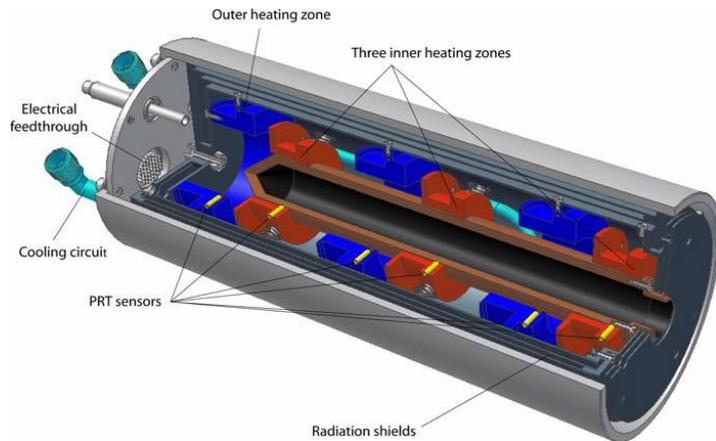
# Vakuumhohlraumstrahler

„Variable Low Temperature Blackbody“

VLTBB: -173 °C bis 170 °C

„Variable Medium Temperature Blackbody“

VMTBB: 150 °C bis 430 °C



**Hohlraumstrahler**

**VLTBB**

**VMTBB**

Emissionsgrad

0.9997

0.9996

Material des Hohlraums

Kupfer

Kupfer

Durchmesser des Hohlraums (mm)

40

26

Durchmesser der Apertur (mm)

20

20

Länge des Hohlraums (mm)

250

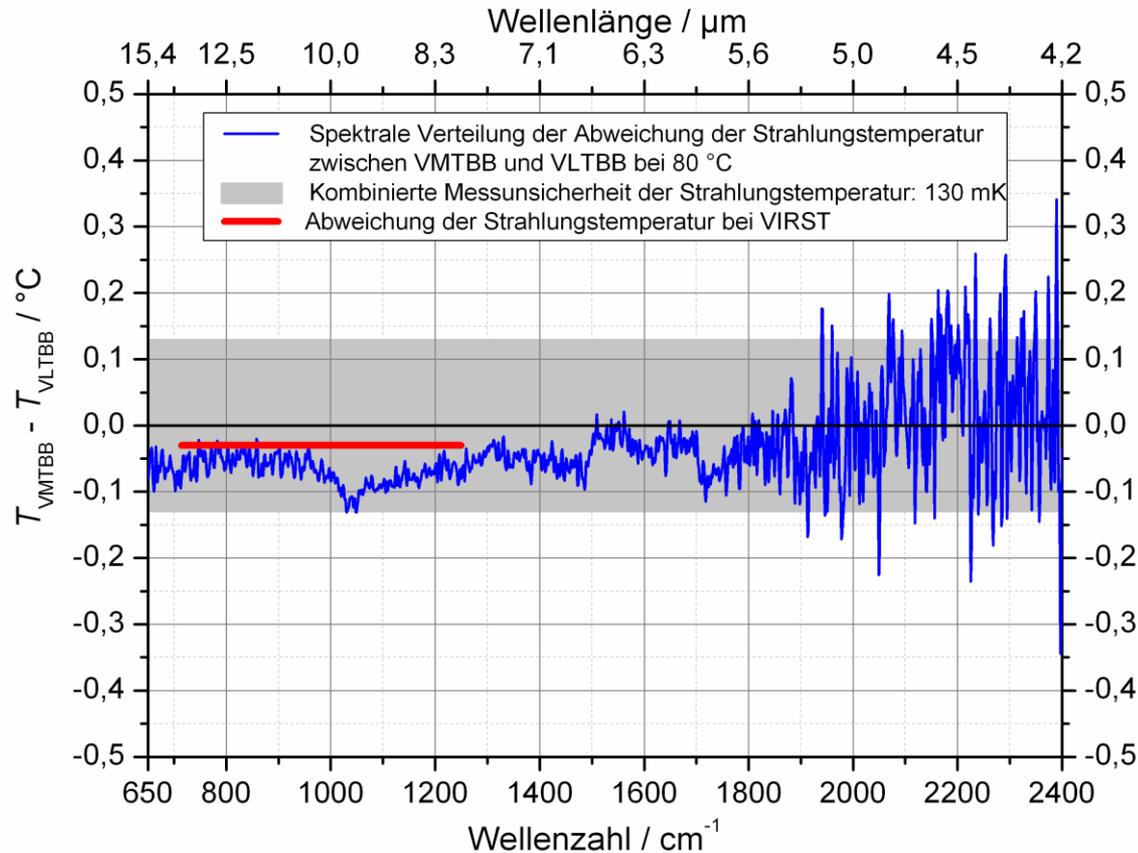
240

Temperaturstabilität

<30 mK

<30 mK

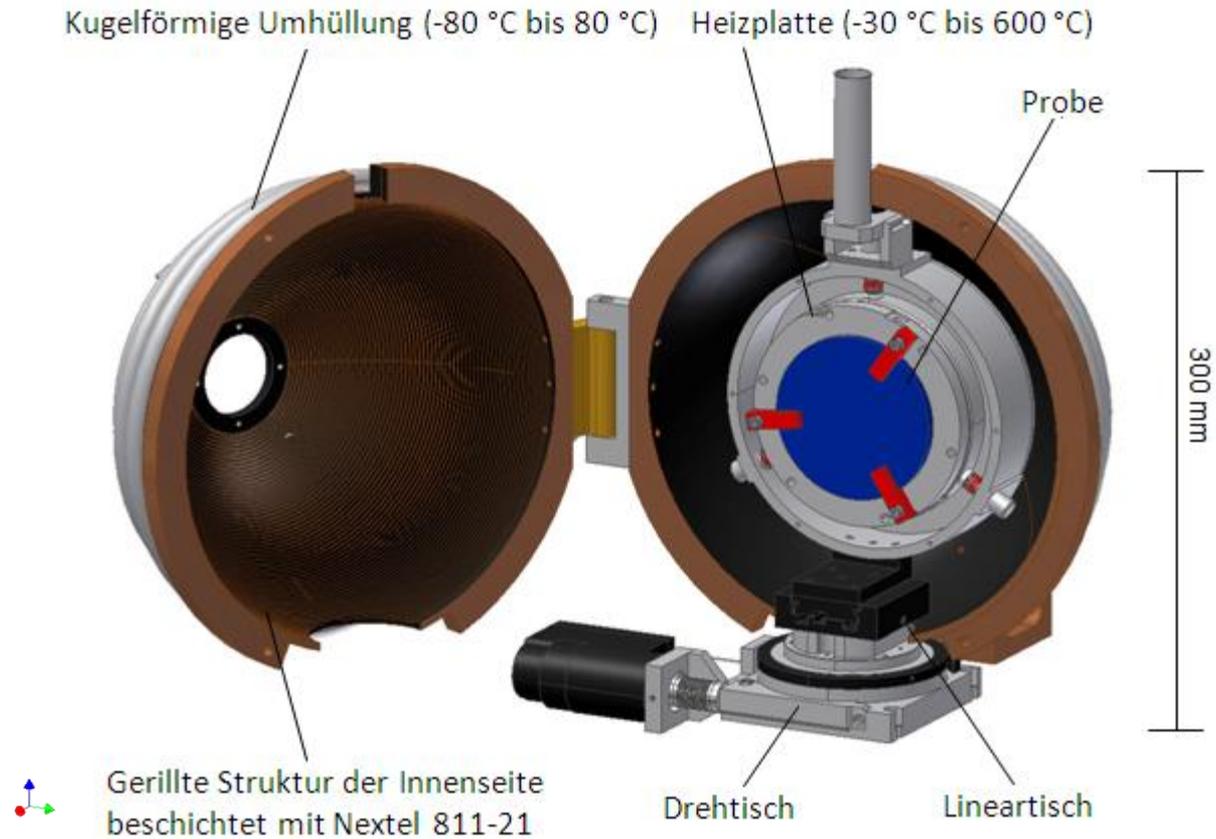
Mit FTIR bei 80 °C



Mit VIRST in Wellenlängenbereich 8  $\mu\text{m}$  bis 14  $\mu\text{m}$

$T_{\text{nom}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{VMTBB}} - T_{\text{VLTBB}}, \text{mK}$
80	-29
110	-46
140	36
170	94

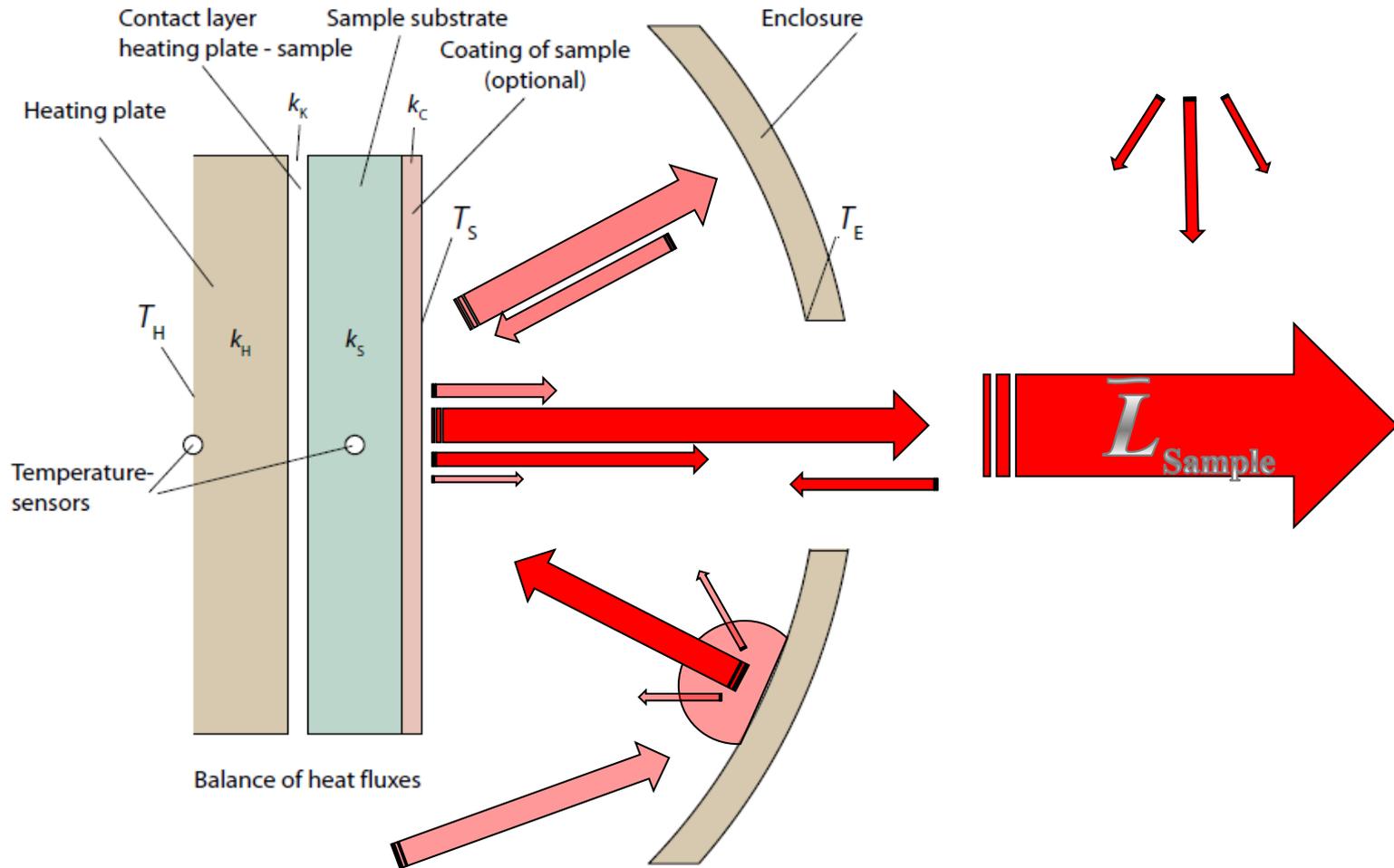
- Beide Hohlraumstrahler sind konsistent im Rahmen der kombinierten Messunsicherheit von 130 mK.



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

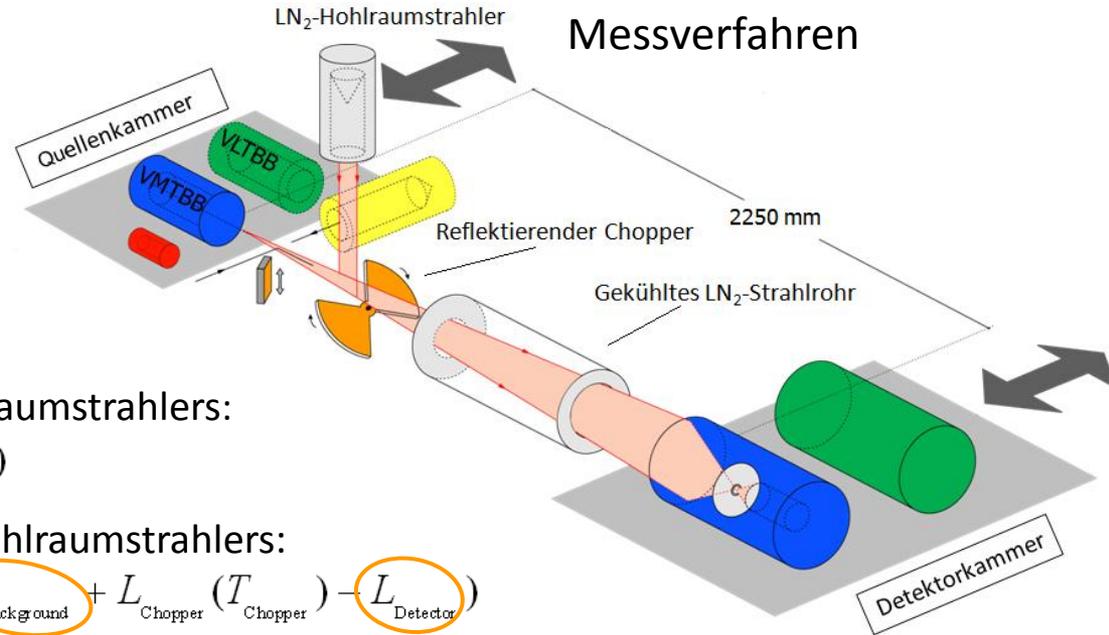
- Berechnung der Strahlung die von der Umhüllung auf die Probe fällt.
- Reduzierung von Mehrfachreflektionen zwischen Probe und Umhüllung.

# Die Mehrfachreflektionen in der kugelförmigen Umhüllung



$$\bar{L}_{Sample} = s(\epsilon L_S + \epsilon_{Encl} L_{Encl} \rho_S \Sigma \Sigma \dots + L_{Background} + \epsilon_{S.hem} L_S \rho_{Encl} \rho_S \Sigma \Sigma \dots - L_{Detector})$$

$$Q = \frac{\tilde{L}_{\text{Sample}}(T_{\text{Sample}}) - \tilde{L}_{\text{BB1}}(T_{\text{BB1}})}{\tilde{L}_{\text{BB2}}(T_{\text{BB2}}) - \tilde{L}_{\text{BB1}}(T_{\text{BB1}})} \quad \epsilon$$



Gemessenes Signal eines Vakuumhohlraumstrahlers:

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

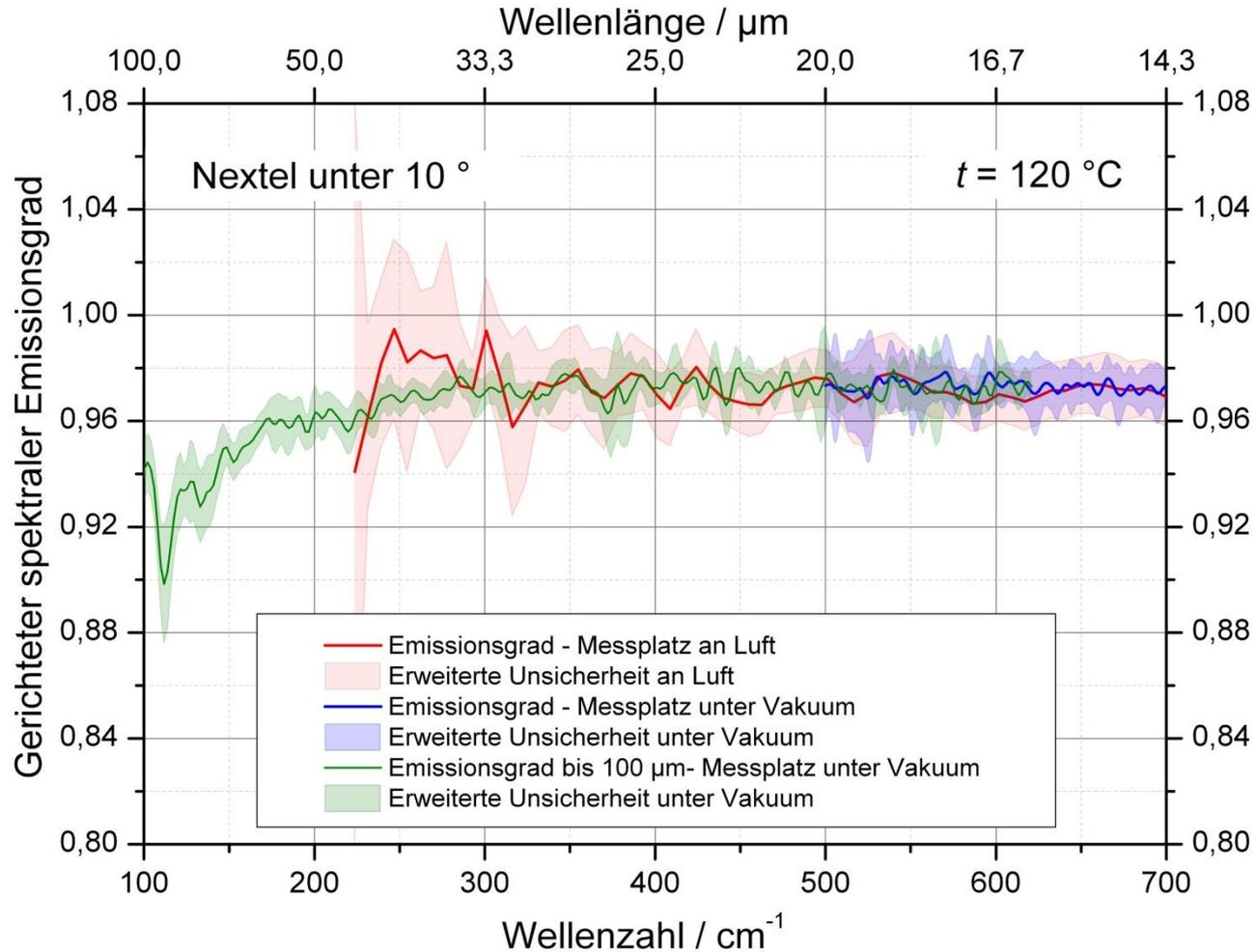
Gemessenes Signal des LN<sub>2</sub>-Referenzhohlraumstrahlers:

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

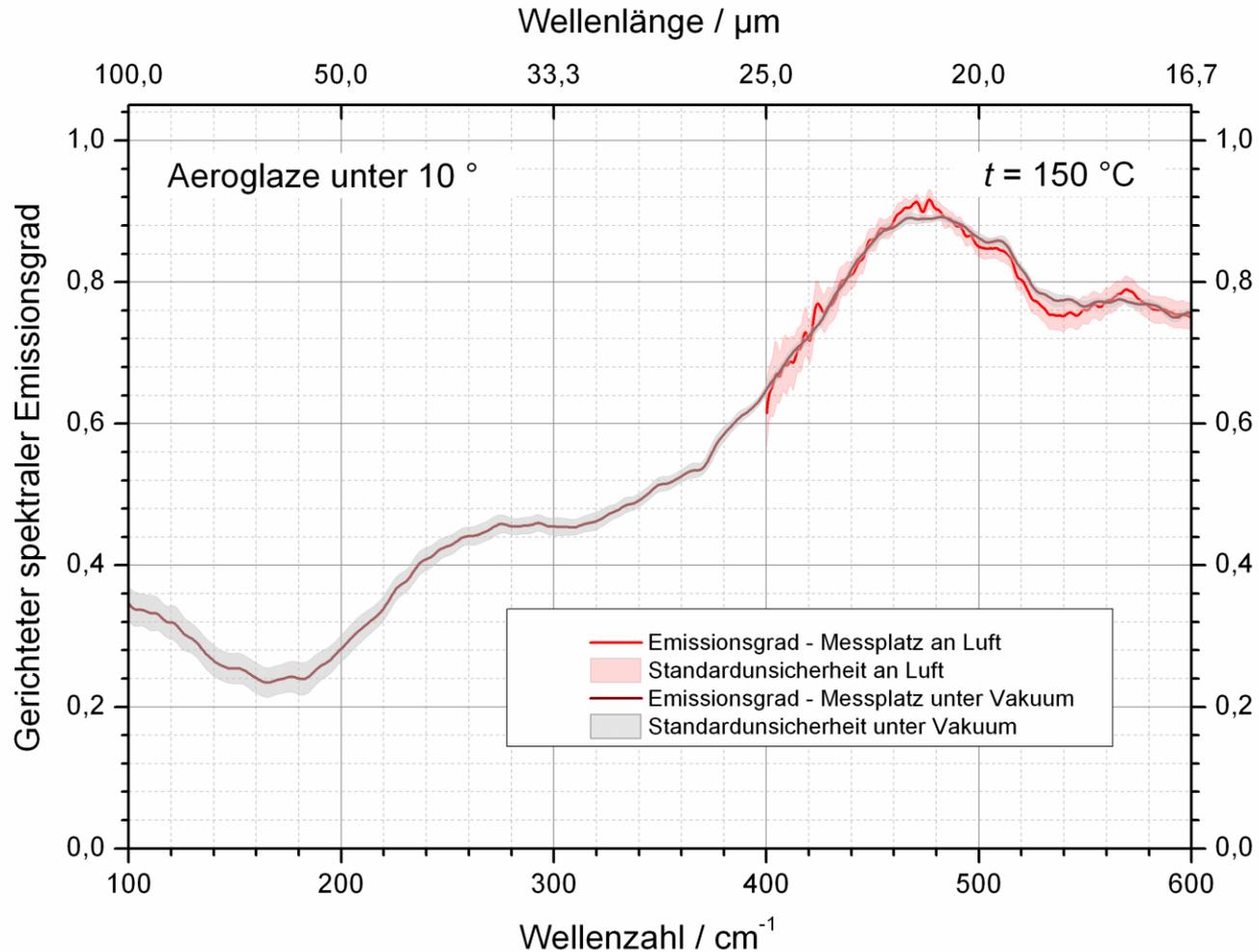
Gemessenes Signal einer Probe:

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

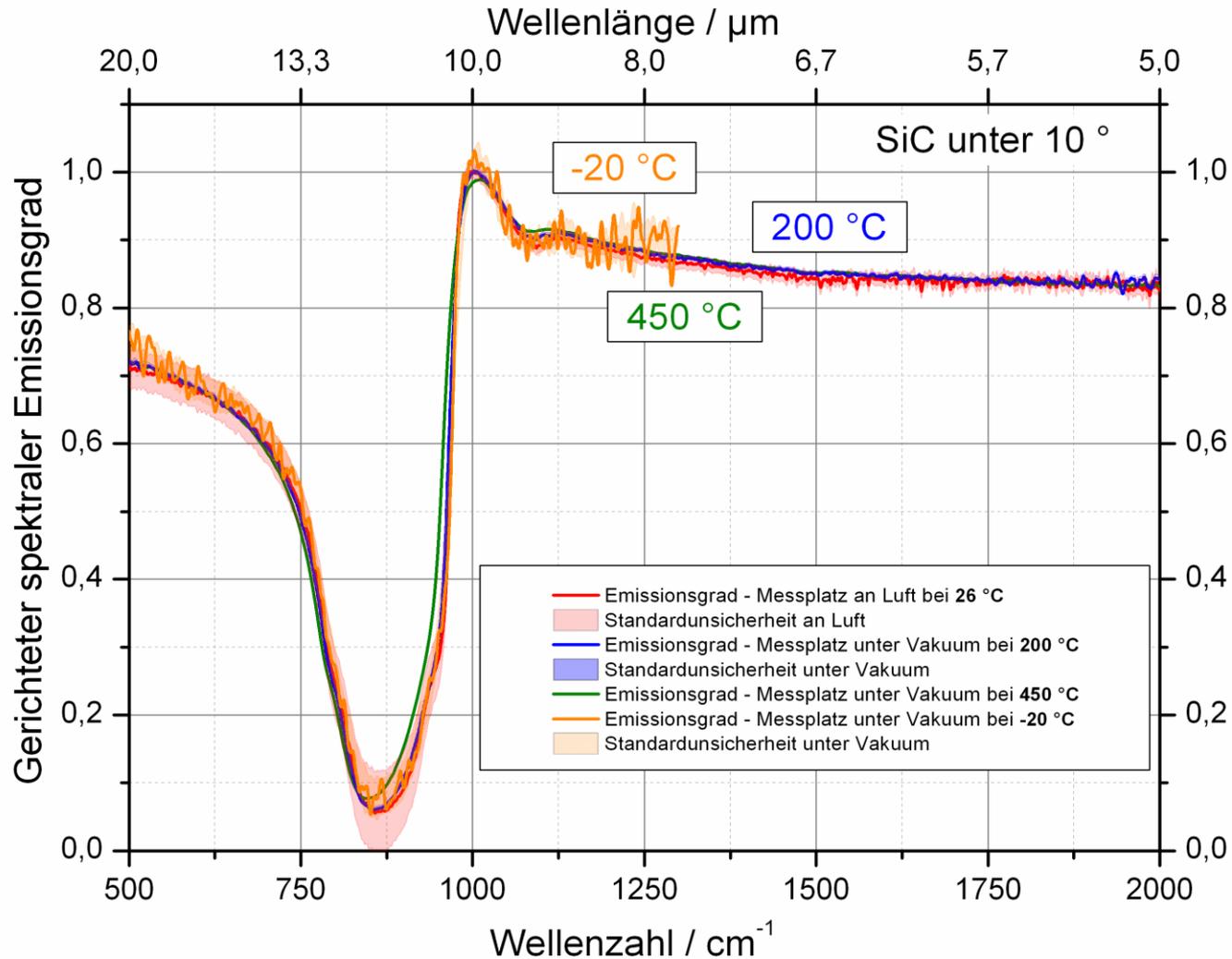
**Eigenstrahlung und spektrale Empfindlichkeit des Spektrometers und Hintergrundstrahlung können eliminiert werden**



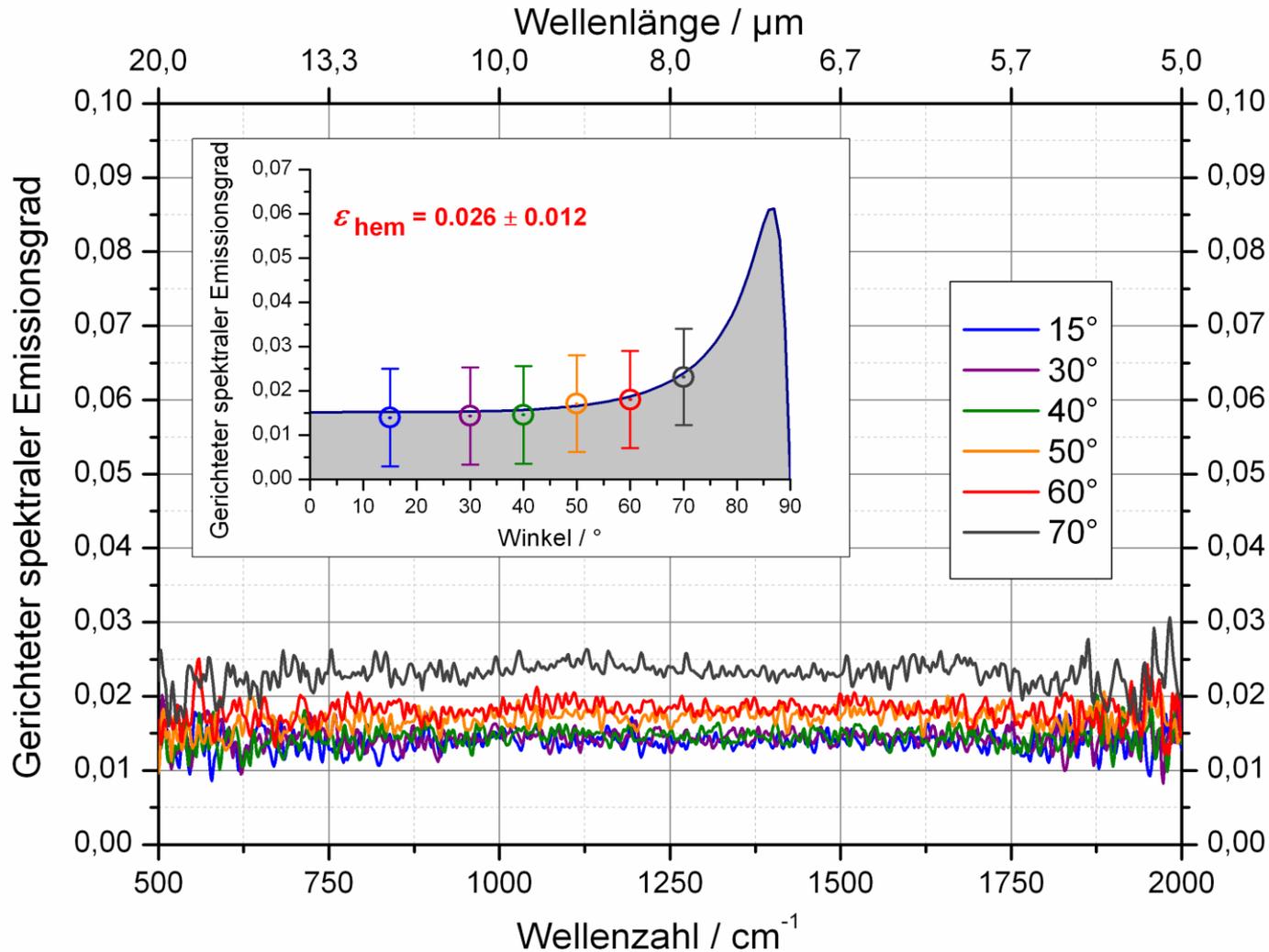
- *Konsistente Messung bis zum  $100\ \mu\text{m}$*
- *Geringere Messunsicherheit unter Vakuum und gute Übereinstimmung*



- *Konsistente Messung bis zum  $100\ \mu\text{m}$  bei Proben mit spektraler Charakteristik*



• Messungen im Temperaturbereich von -20 °C bis 450 °C



- Gesamtemissionsgrad und hemisphärischer Gesamtemissionsgrad können bestimmt werden
- Low- $\epsilon$ -Proben können gemessen werden

- **Anlage für Emissionsgradmessungen unter Vakuum in der PTB wurde in Betrieb genommen:**
  - Temperaturbereich: -40 °C bis 600 °C
  - Beobachtungswinkel:  $\pm 75^\circ$
  - Wellenlängenbereich: 4  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$
- **Erste Ergebnisse:**
  - Messunsicherheit ist deutlich kleiner geworden
  - Temperaturbereich konnte ausgedehnt werden
  - Low- $\varepsilon$ -Proben können durch Berücksichtigung der Mehrfachreflektionen gemessen werden
  - Gesamtemissionsgrad und hemisphärischer Gesamtemissionsgrad können bestimmt werden
  - Emissionsgrad kann bis zum 100  $\mu\text{m}$  gemessen werden

**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!**