

# Messung des spektralen Emissionsgrades an der PTB

Christian Monte, Berndt Gutschwager, Jörg Hollandt

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), AG 7.31

Abbestraße 2-12, D-10587 Berlin

Email: christian.monte@ptb.de

## Status

Die PTB bestimmt den spektralen gerichteten Emissionsgrad von opaken Proben in einem Temperaturbereich von 80 °C bis 250 °C, einem Wellenlängenbereich von 4 µm bis 40 µm und unter Abstrahlwinkeln von 0° bis 75° mit Hilfe eines modifizierten Fouriertransformspektrometers. Der spektrale gerichtete Emissionsgrad wird an der PTB durch eine Vergleichsmessung der Strahldichten eines Hohlraumstrahlers hoher Güte und der zu untersuchenden Probe unter Berücksichtigung der Strahlung der Umgebung und der Eigenstrahlung des Spektrometers durchgeführt. Zur Sicherstellung einer konstanten Strahlungsbilanz befindet sich die Probe in einer temperierten Hemisphäre. Zur Bestimmung der Oberflächentemperatur der Probe wird eine Bilanz der Wärmestromdichten aufgestellt, in der die hemisphärischen Strahlungsverluste, die Leitungs- sowie die Konvektionsverluste berücksichtigt werden [1]. Der hierfür notwendige hemisphärische Emissionsgrad wird aus den Messergebnissen der spektral gerichteten Größen iterativ berechnet. Ein weiterer Aspekt ist die Untersuchung der Probenoberflächen auf ihre Homogenität, dies geschieht mit einer gekühlten InSb Wärmebildkamera bei einer Schwerpunktwellenlänge von 4 µm. Ein typisches Ergebnis solch einer Messung ist in Abbildung 1. dargestellt.

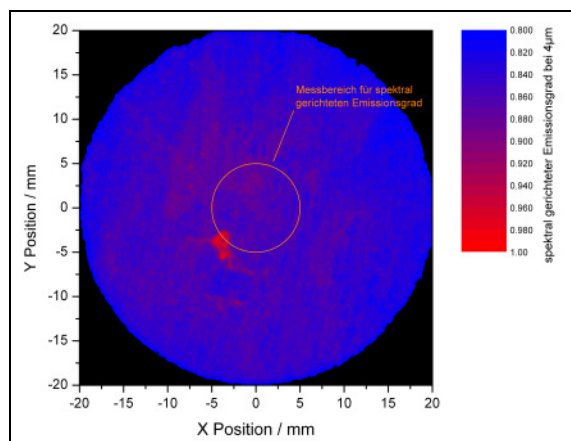


Abb. 1: Homogenität des gerichteten Emissionsgrades bei 4 µm einer Natursteinprobe bei 240 °C.

Trotz des Prinzips einer Verhältnismessung, eines gespülten Spektrometers und gleichen Weglängen an Luft lassen sich atmosphärische Störungen durch schwankende Kohlendioxid- und Wasserabsorption nicht vollständig vermeiden. Beispielhaft ist dies an einer Serie von Emissionsgradmessungen an BK7-Glas in Abbildung 2. dargestellt. Um solche Störungen durch atmosphärische

Einflüsse zu vermeiden entsteht an der PTB zur Zeit ein Messplatz zur Bestimmung des spektralen gerichteten Emissionsgrades unter Vakuum [2, 3]. Durch die dann nicht mehr vorhandenen Konvektionsverluste wird außerdem die Bestimmung der Probenoberflächentemperatur wesentlich genauer.

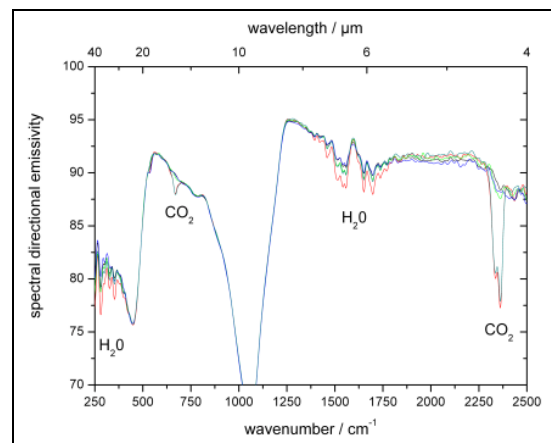


Abb. 2: Serie von Emissionsgradmessungen an BK7-Glas mit deutlich sichtbarer Variation der H<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> Absorption.

## Apparative Weiterentwicklung

Dieser neue Messplatz ist Teil des Messplatz zur Kalibrierung mit reduziertem Strahlungshintergrund oder der „Reduced Background Calibration Facility“ (RBCF) der PTB, die in Abbildung 3. dargestellt ist.

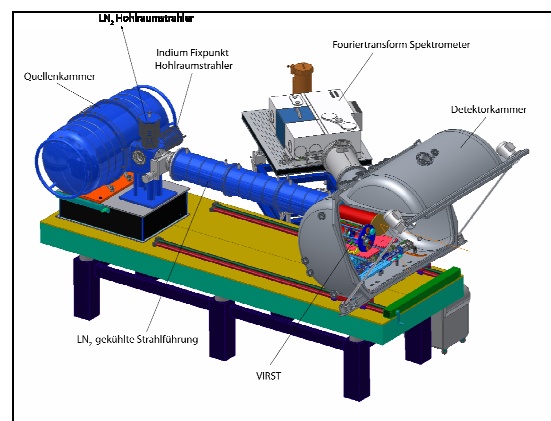
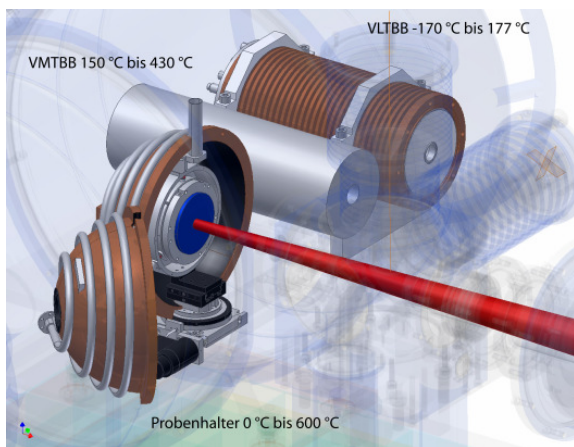


Abb. 3: Der Messplatz zur Kalibrierung mit reduziertem Strahlungshintergrund mit dem Fouriertransform Spektrometer zur Bestimmung des spektralen Emissionsgrades.

Zur Minimierung der Einflüsse der Umgebungsstrahlung ist die Strahlführung auf 77 K gekühlt. Um die Eigenstrahlung des Spektrometers zu korrigieren werden zwei Vakuumhohlraumstrahler unterschiedlicher Temperatur als Referenzen verwendet die in Abbildung 3 dargestellt sind. Dies sind der „Variable Low Temperature Blackbody“ (VLTBB) für den Temperaturbereich -170 °C bis 177 °C und der „Variable Medium Temperature Blackbody“ (VMTBB) für den Temperaturbereich 150 °C bis 430 °C. Beide sind dedizierte Vakuumhohlraumstrahler und bestehen jeweils aus einem äußeren Thermostaten zur Grobtemperierung und drei inneren Heizzonen direkt am Hohlraum zur Feintemperierung [3, 4]. Ihr Emissionsgrad ist jeweils größer als 0.9996.



**Abb. 4:** Der Probenhalter für Emissionsgradmessungen und die beiden Vakuum-Referenzhohlraumstrahler in der transparent dargestellten Quellenkammer des Messplatzes mit reduziertem Strahlungshintergrund.

### Korrektur der Eigenstrahlung

Das gemessene Signal  $\tilde{L}_{\text{Sample}}$  einer spektralen gerichteten Emissionsgradmessung hat folgende Form:

$$\tilde{L}_{\text{Sample}}(T_{\text{Sample}}) = s \cdot (\epsilon_{\text{Sample}} L_{\text{Planck}}(T_{\text{Sample}}) + (1 - \epsilon_{\text{Sample}}) \epsilon_{\text{Environment}} L_{\text{Planck}}(T_{\text{Environment}}) - \epsilon_{\text{Detector}} L_{\text{Planck}}(T_{\text{Detector}}) + L_{\text{Background}})$$

Dabei ist  $s$  die spektrale Empfindlichkeit des Spektrometers,  $L_{\text{Planck}}(T)$  die spektrale Planck'sche Strahldichte bei der jeweiligen Temperatur,  $\epsilon_{\text{Sample}}$  der gesuchte spektral gerichtete Emissionsgrad der Probe,  $\epsilon_{\text{Environment}}$  und  $\epsilon_{\text{Detector}}$  die spektral gerichteten Emissionsgrade von Umgebung und Detektor und  $L_{\text{Background}}$  die spektrale Hintergrund bzw. Eigenstrahlung des Spektrometers. Im Falle der Messung der Hohlraumstrahler und ihres spektralen gerichteten Emissionsgrades von nahezu 1 reduziert sich der Ausdruck auf:

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

Durch die Bildung eines Quotienten von Differenzen dreier Messungen:

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

lassen sich die spektrale Empfindlichkeit des Spektrometers  $s$  sowie seine Hintergrund- bzw. Eigenstrahlung  $L_{\text{Background}}$  eliminieren. Bei bekannten Temperaturen kann der gesuchte spektral gerichtete Emissionsgrad  $\epsilon_{\text{Sample}}$  dann berechnet werden. Da die verschiedenen Strahlungsquellen unterschiedliche Phasenlagen aufweisen, ist es im Falle der Verwendung von Fouriertransform Spektrometern notwendig diese Rechnung mit komplexwertigen Größen durchzuführen [5, 6].

### Ausblick

Durch die Kühlung der Strahlführung und die Korrektur der Eigenstrahlung von Spektrometerkomponenten wird es mit dem neuen Emissionsgradmessplatz möglich, den spektralen gerichteten Emissionsgrad im Temperaturbereich von 0 °C bis 430 °C und Wellenlängenbereich von 1 bis 2000  $\mu\text{m}$  zu bestimmen.

### Literatur

1. Lohregel, J., R. Todtenhaupt, and M. Ragab, *Bestimmung des gerichteten spektralen Emissionsgrades von Feststoffen im Wellenlängenbereich von 2,5  $\mu\text{m}$  bis 45  $\mu\text{m}$  bei Temperaturen zwischen 80 °C und 350 °C*. Wärme- und Stoffübertragung, 1993. **28**(6): p. 321-327.
2. Hollandt, J., et al. *Radiation Thermometry under Vacuum at the PTB*. in *TEMPERATUR 2006*. 2006. Berlin.
3. Monte, C., et al., *Radiation Thermometry and Emissivity Measurements under Vacuum at the PTB*. International Journal of Thermophysics, 2007. submitted.
4. Morozova, S., et al. *Vacuum Variable Temperature Blackbody VLTBB100*. in *TEMPMEKO*. 2007. Lake Louise.
5. Revercomb, H.E., et al., *Radiometric calibration of IR Fourier transform spectrometers: solution to a problem with the High-Resolution Interferometer Sounder*. Applied Optics, 1997. **27**(15): p. 3210-3218.
6. Sromovsky, L.A., *Radiometric errors in complex Fourier transform spectrometry*. Applied Optics, 2003. **42**(10): p. 1779-1787.