

ENERGIE.
ZUKUNFT.
ZAE.

Messung der Emissionsgrade von Folienwärmedämmungen

Jochen Manara

Jahrestagung 2019 des
Arbeitskreises Thermophysik
Leoben, 08.-09. April 2017



Inhalt

Einleitung

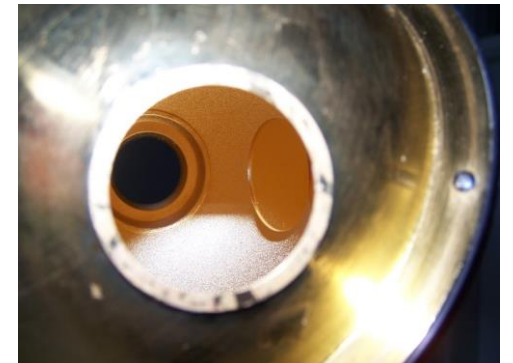
- Folienwärmedämmung mit low-e Folien
- Einfluss des Emissionsgrades auf den Wärmetransport

Messverfahren zu Bestimmung des Emissionsgrades

- Direktes radiometrisches Verfahren
- Ulbrichtkugel als spektrales indirektes Verfahren
- Emissiometer als integrales indirektes Verfahren

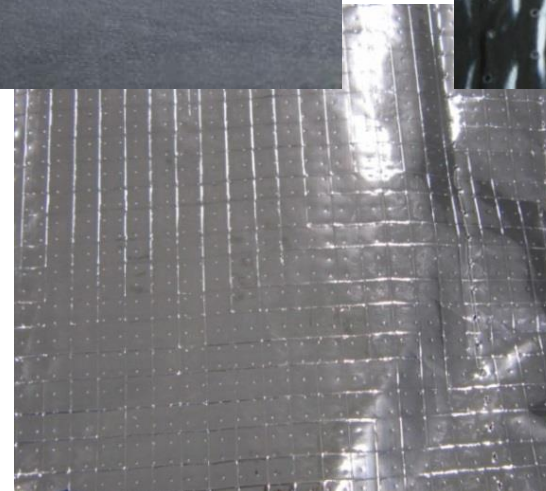
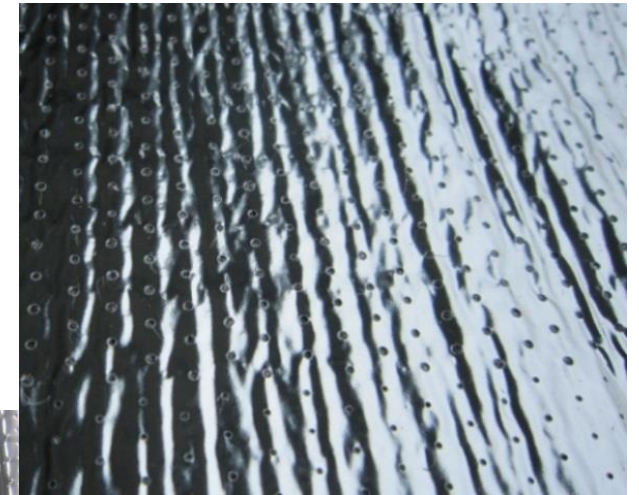
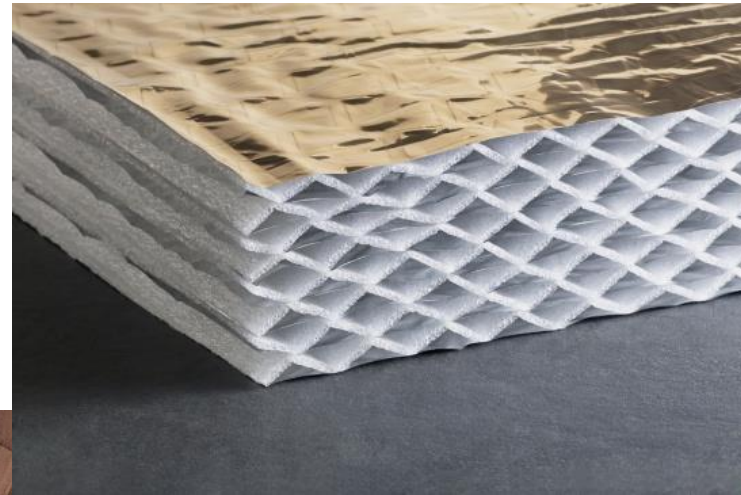
Durchführung erster Messungen

- Präparation erster Referenzproben mit definierten Eigenschaften
- Charakterisierung ausgewählter Folien mit typischen Beschichtungen



Beispiele für Folienwärmedämmungen

Mehrlagige Foliendämmungen mit low-e Folien und Abstandshaltern



Low-e Oberflächen
mit Emissionsgraden
 $\varepsilon < 0,1$

EU-Projekt

Improvement of emissivity measurements on reflective insulation materials
(EMIRIM – FKZ: 16NRM06)

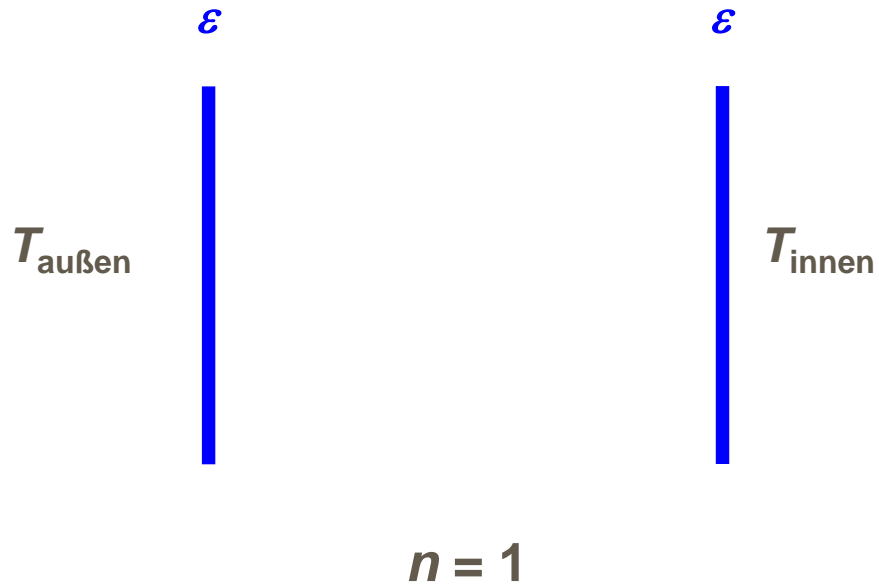
Verbesserung der Messverfahren zur Realisierung geringer Messunsicherheiten für low-e Folien
Beitrag zur entsprechenden Normung (EN 16012 und EN 15976)



Wärmestrahlungstransport zwischen Oberflächen

Wärmestrom durch Wärmestrahlung

$$\dot{q}_{\text{Strahlung}} = \frac{1}{n \cdot \left(\frac{2}{\varepsilon} - 1\right)} \cdot \sigma \cdot (T_{\text{innen}}^4 - T_{\text{außen}}^4)$$



n : Anzahl der Spalte

ε : Emissionsgrad der Folien

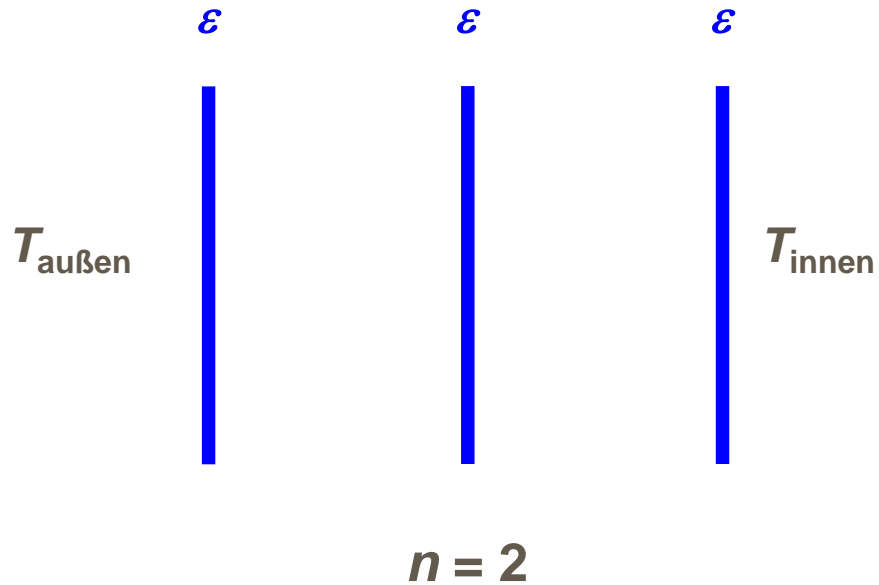
σ : Stefan-Boltzmann-Konstante

Anzahl der Folien $m = n + 1$

Wärmestrahlungstransport zwischen Oberflächen

Wärmestrom durch Wärmestrahlung

$$\dot{q}_{\text{Strahlung}} = \frac{1}{n \cdot \left(\frac{2}{\varepsilon} - 1\right)} \cdot \sigma \cdot (T_{\text{innen}}^4 - T_{\text{außen}}^4)$$



n : Anzahl der Spalte

ε : Emissionsgrad der Folien

σ : Stefan-Boltzmann-Konstante

Anzahl der Folien $m = n + 1$

Wärmestrahlungstransport zwischen Oberflächen

Wärmestrom durch Wärmestrahlung

$$\dot{q}_{\text{Strahlung}} = \frac{1}{n \cdot \left(\frac{2}{\varepsilon} - 1\right)} \cdot \sigma \cdot (T_{\text{innen}}^4 - T_{\text{außen}}^4)$$

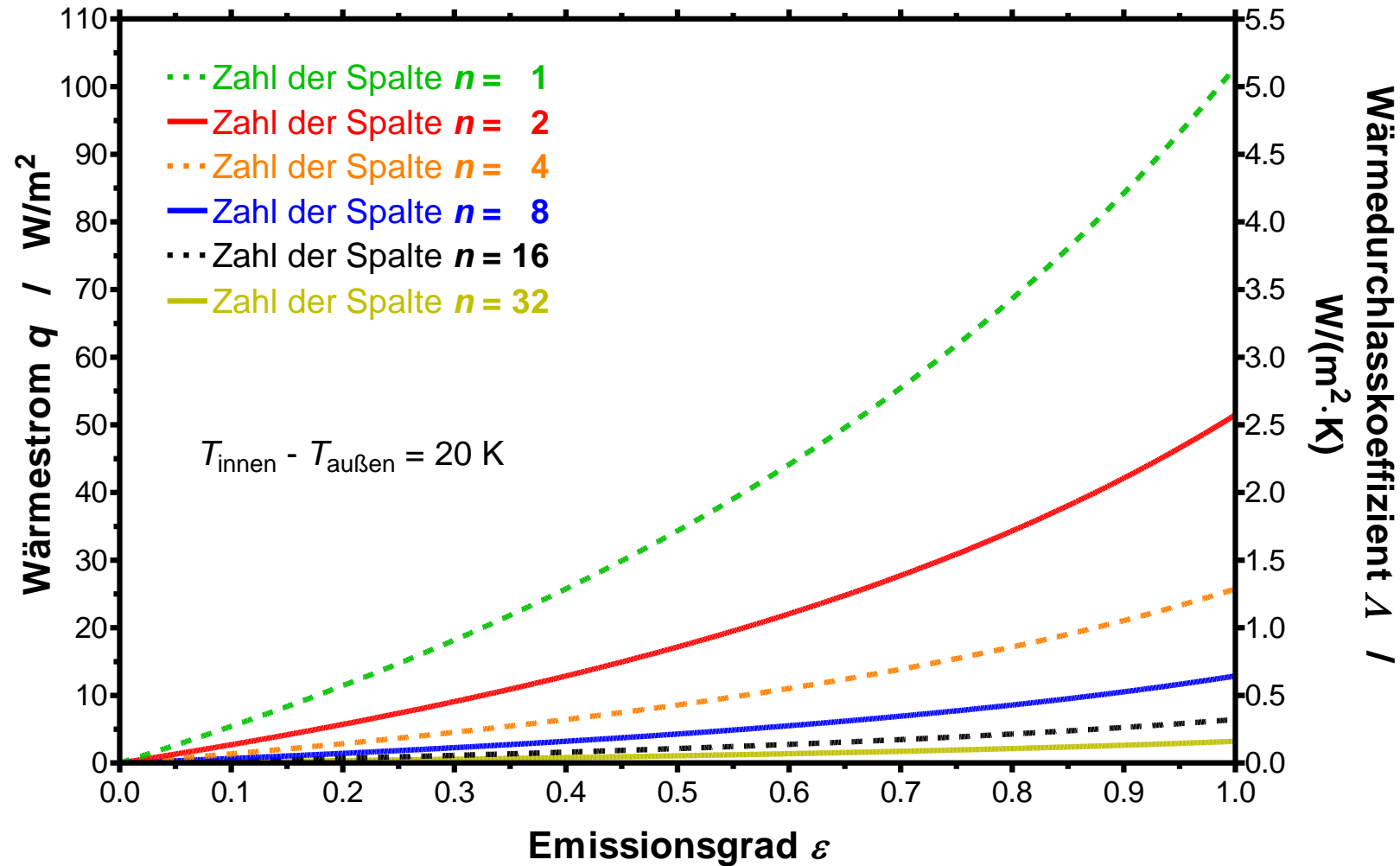
$$\begin{aligned}\dot{q}_{\text{Strahlung}} &= -\Lambda \cdot (T_{\text{innen}} - T_{\text{außen}}) \\ &= -\frac{\lambda}{d} \cdot (T_{\text{innen}} - T_{\text{außen}})\end{aligned}$$

Λ : Wärmedurchlasskoeffizient

λ : **scheinbare** Wärmeleitfähigkeit

d : Dicke der Foliendämmung

Wärmestrahlungstransport zwischen Oberflächen



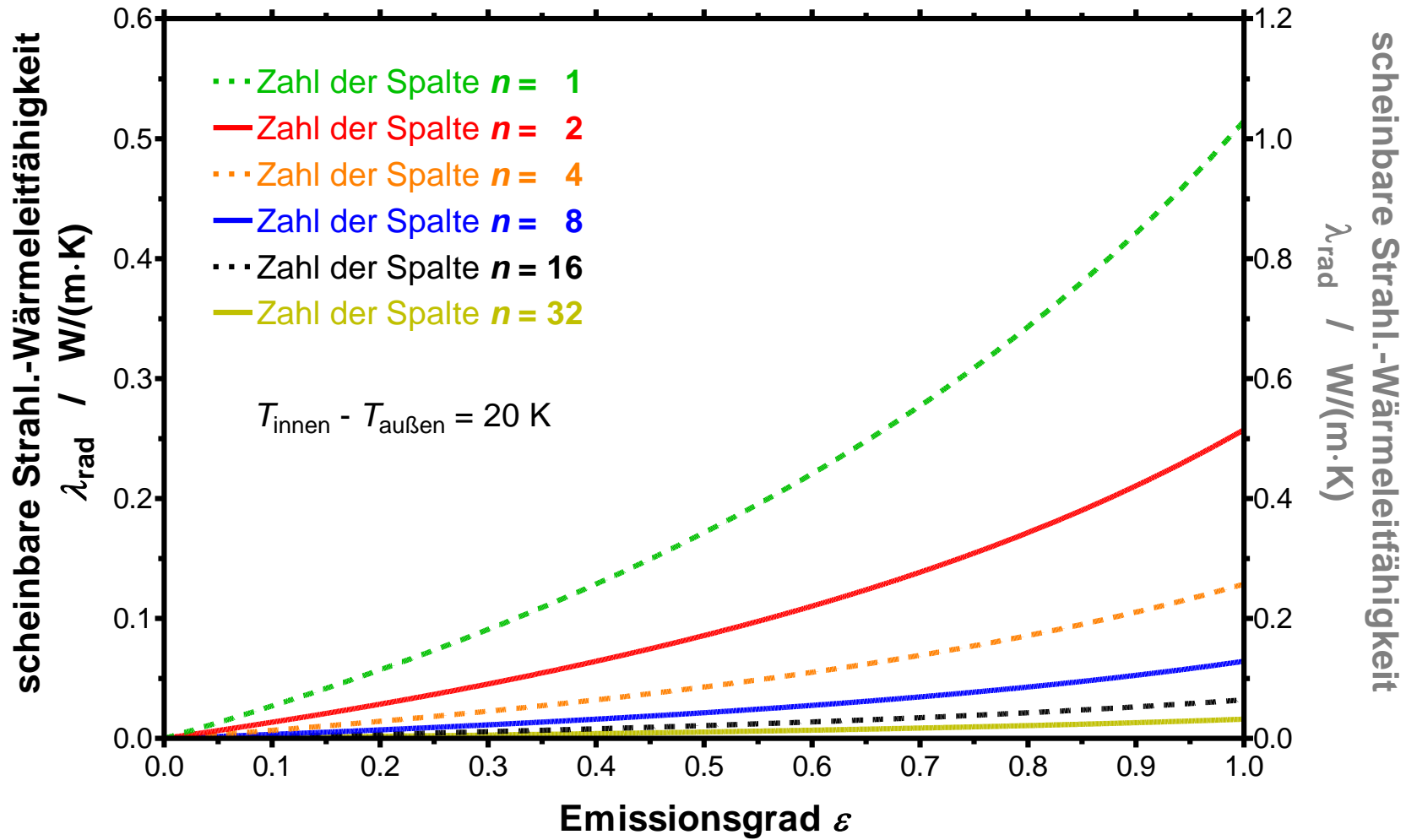
Wärmestrom und Wärmedurchlasskoeffizient bei

- Innentemperatur $T_{\text{innen}} = 20 \text{ °C}$ und
- Außentemperatur $T_{\text{außen}} = 0 \text{ °C}$

Wärmestrahlungstransport zwischen Oberflächen

Dicke $d = 10$ cm

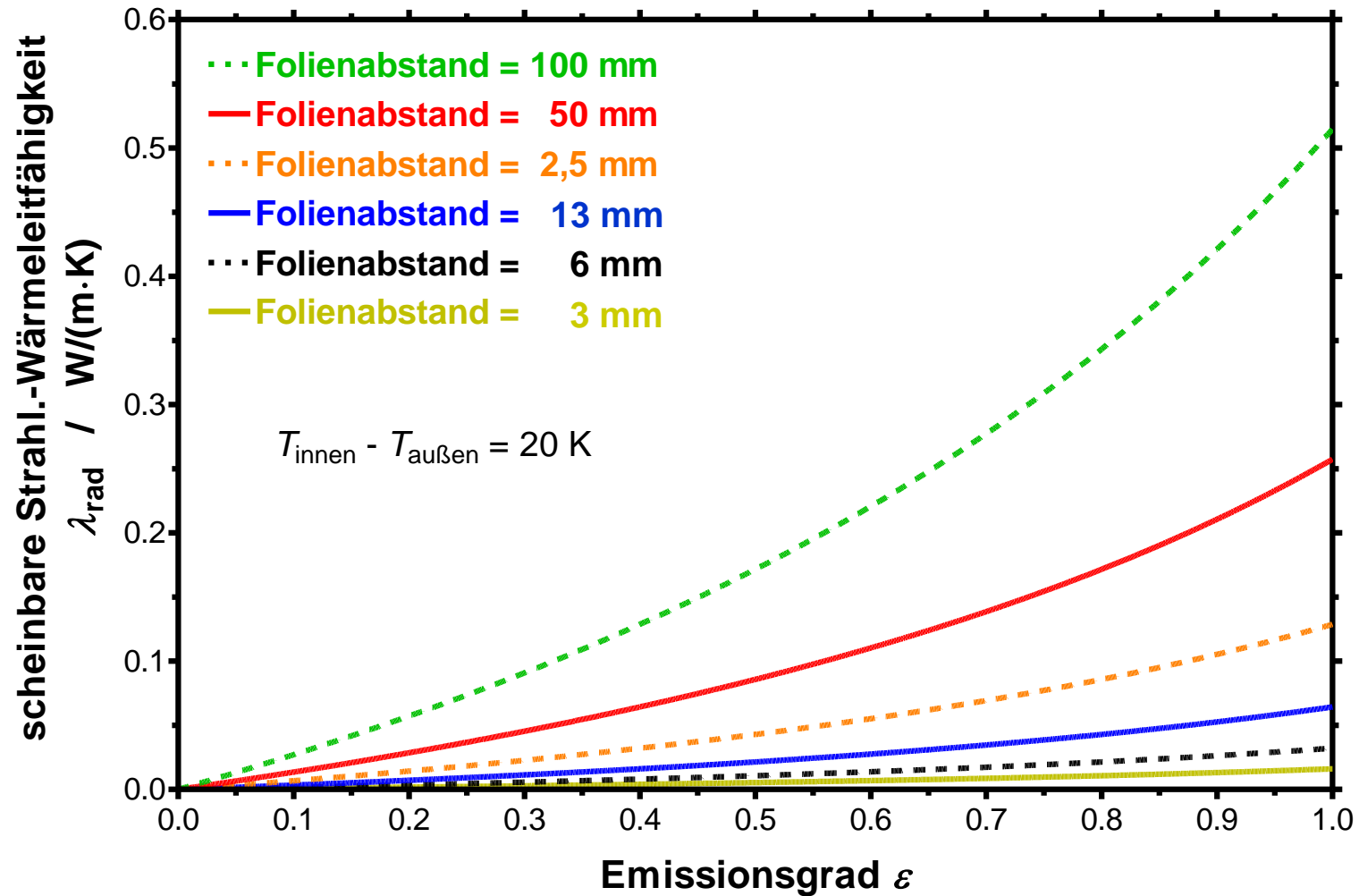
Dicke $d = 20$ cm



scheinbare
Strahlungs-
wärmeleitfähigkeit
bei einer Dicke von

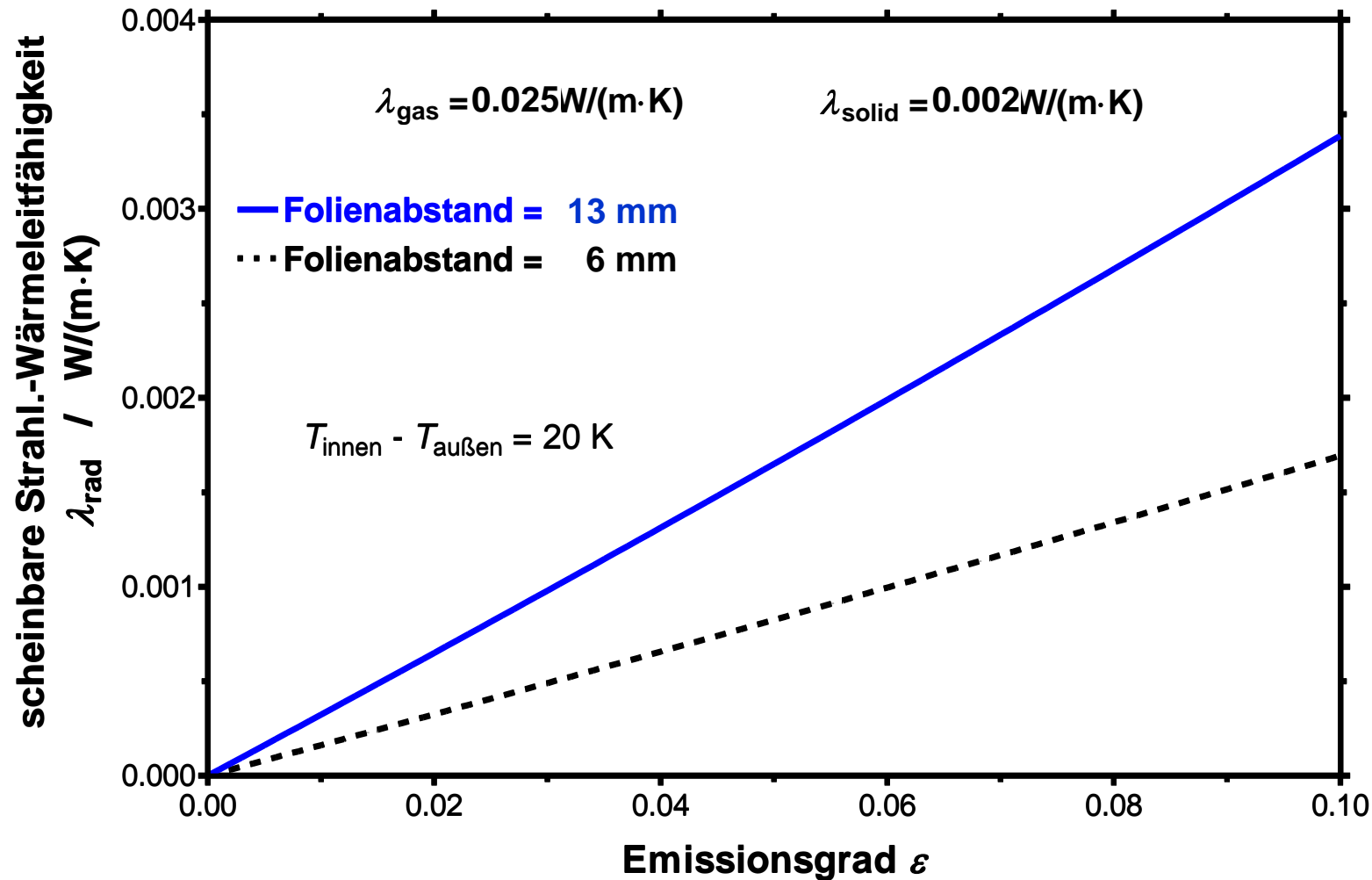
- $d = 10$ cm
- $d = 20$ cm

Wärmestrahlungstransport zwischen Oberflächen



Umrechnung für den Folienabstand zur besseren Vergleichbarkeit der Strahlungswärmeleitfähigkeit

Wärmestrahlungstransport zwischen Oberflächen



näherungsweise lineare Abhängigkeit der Strahlungs-Wärmeleitfähigkeit vom Emissionsgrad der Folien

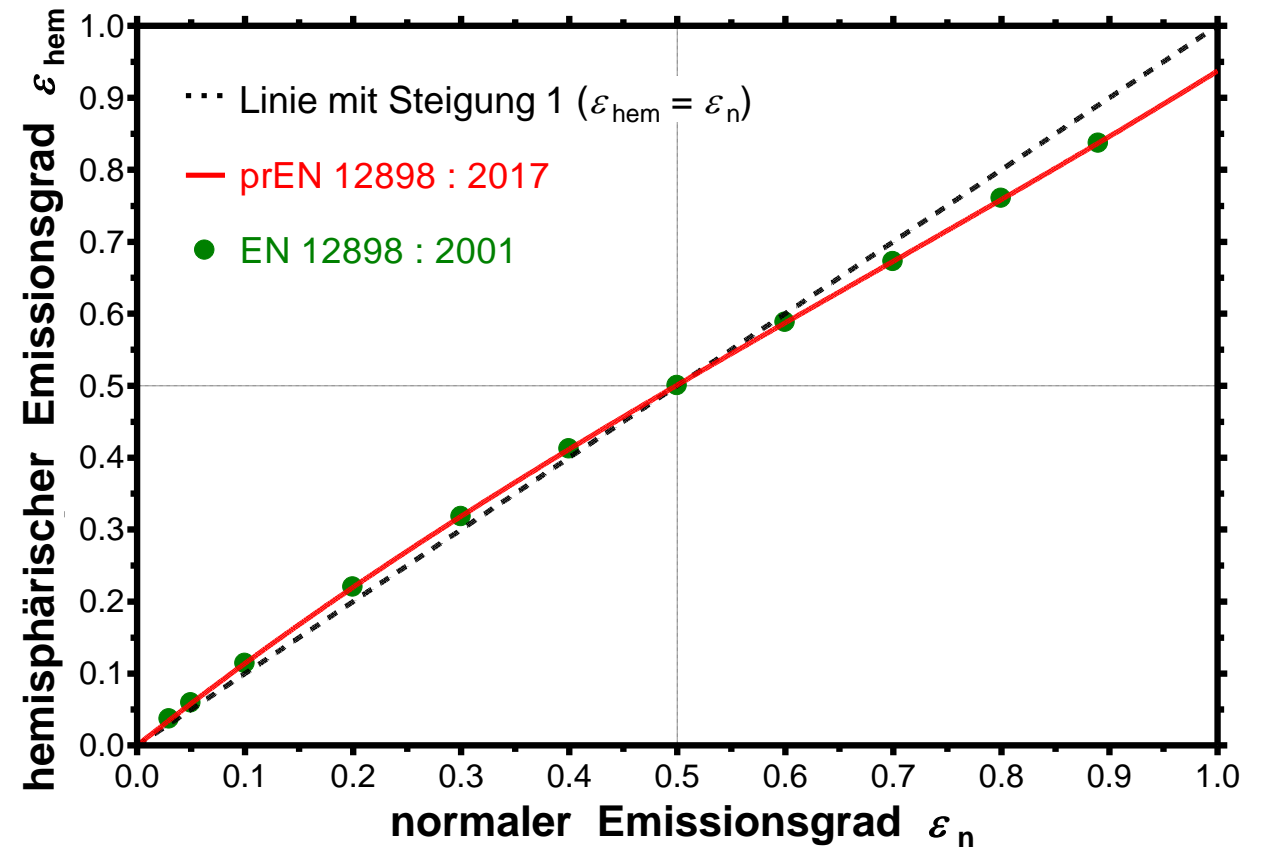
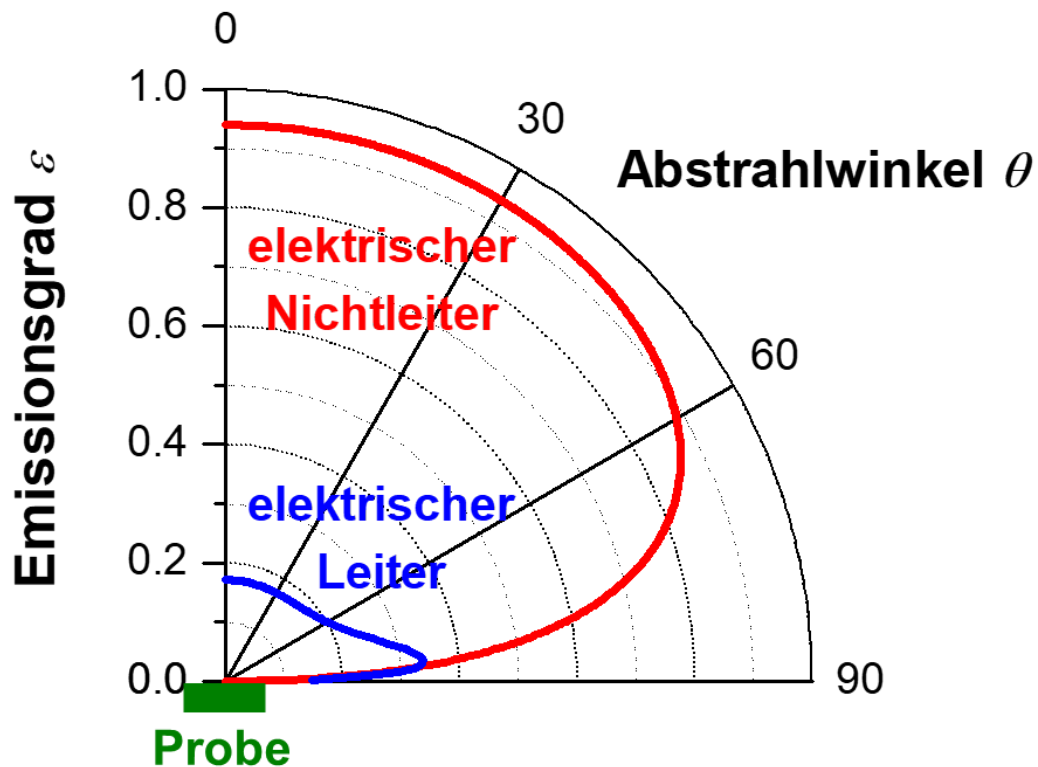
Realisierung von **scheinbaren** Wärmeleitfähigkeiten von bis zu unter $30 \text{ mW}/(\text{m}\cdot\text{K})$

→ starke Abhängigkeit vom Emissionsgrad

Hemisphärischer Gesamt-Emissionsgrad

Korrelation zwischen normalem und hemisphärischem Emissionsgrad

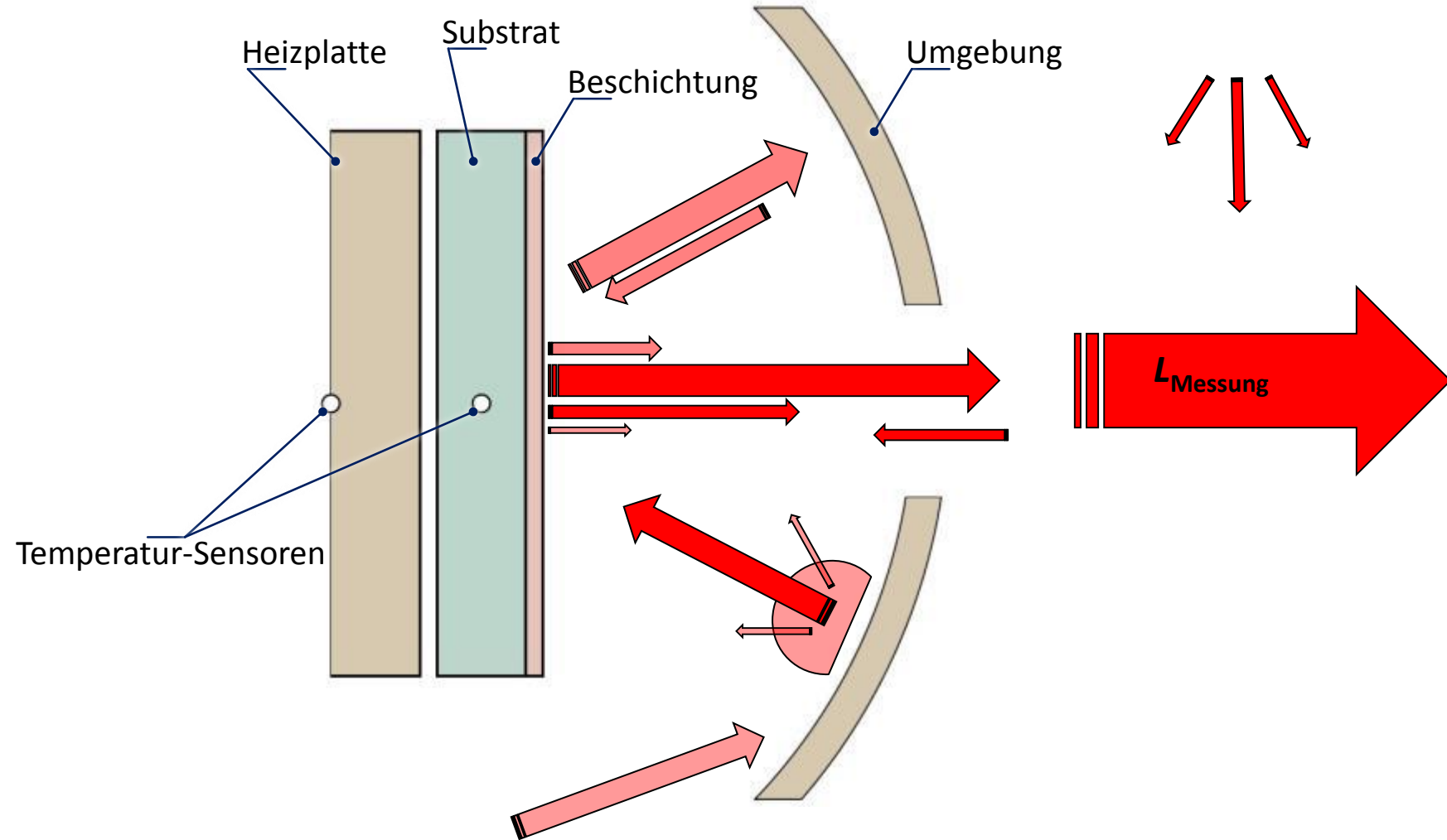
$$\varepsilon_{\text{hem}} = 1.1887 \cdot \varepsilon_n - 0.4967 \cdot \varepsilon_n^2 + 0.2452 \cdot \varepsilon_n^3$$



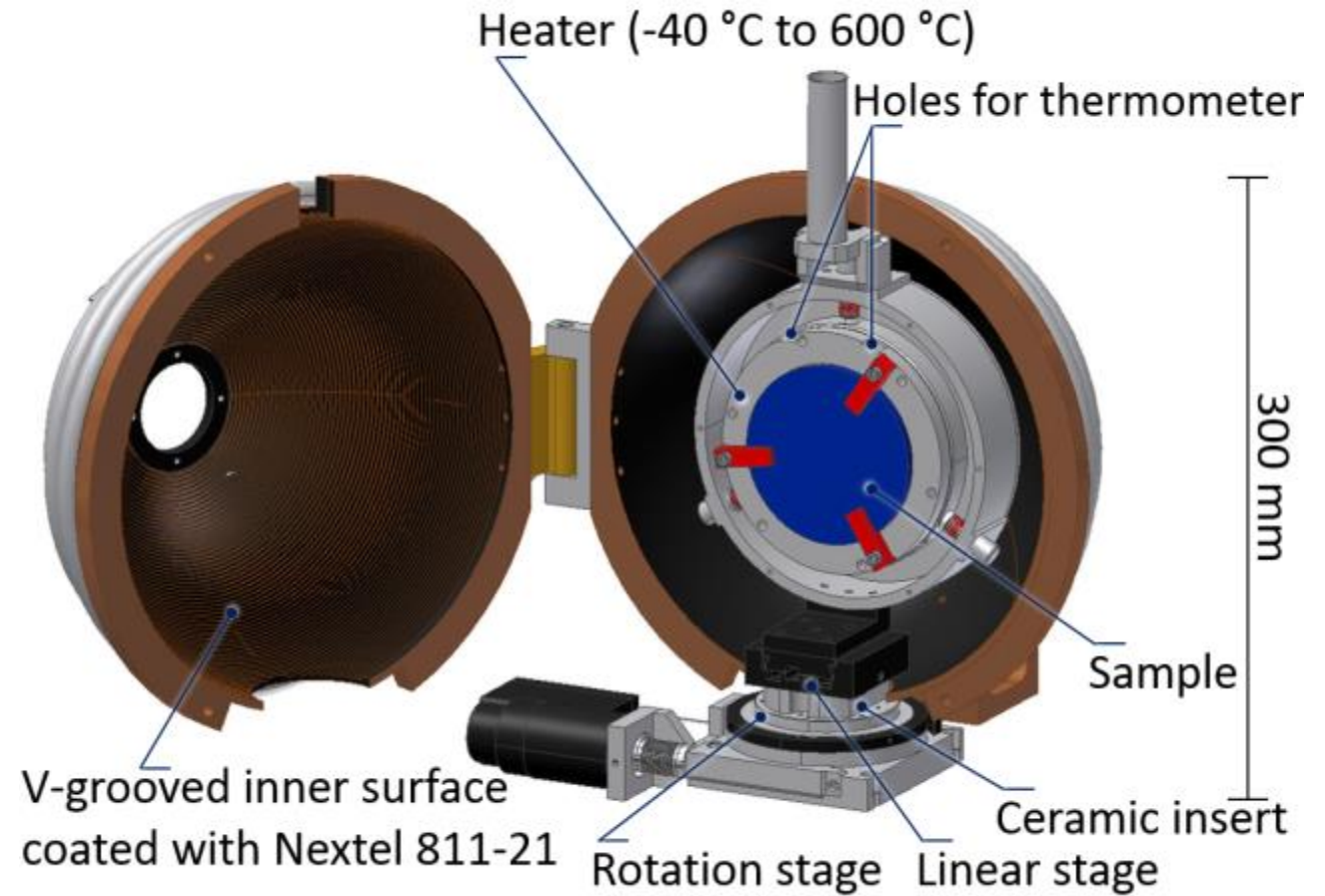
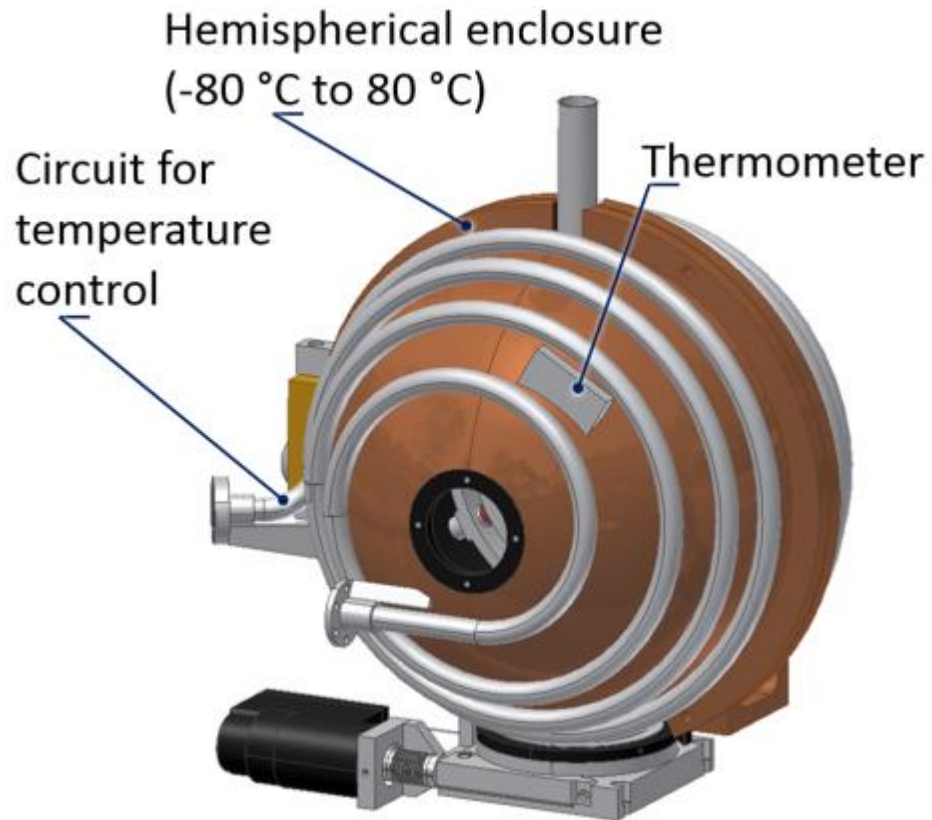
Messverfahren zur Bestimmung des Emissionsgrades

Direktes
radiometrisches
Verfahren

gerichteter
spektraler
Emissionsgrad



Messverfahren zur Bestimmung des Emissionsgrades

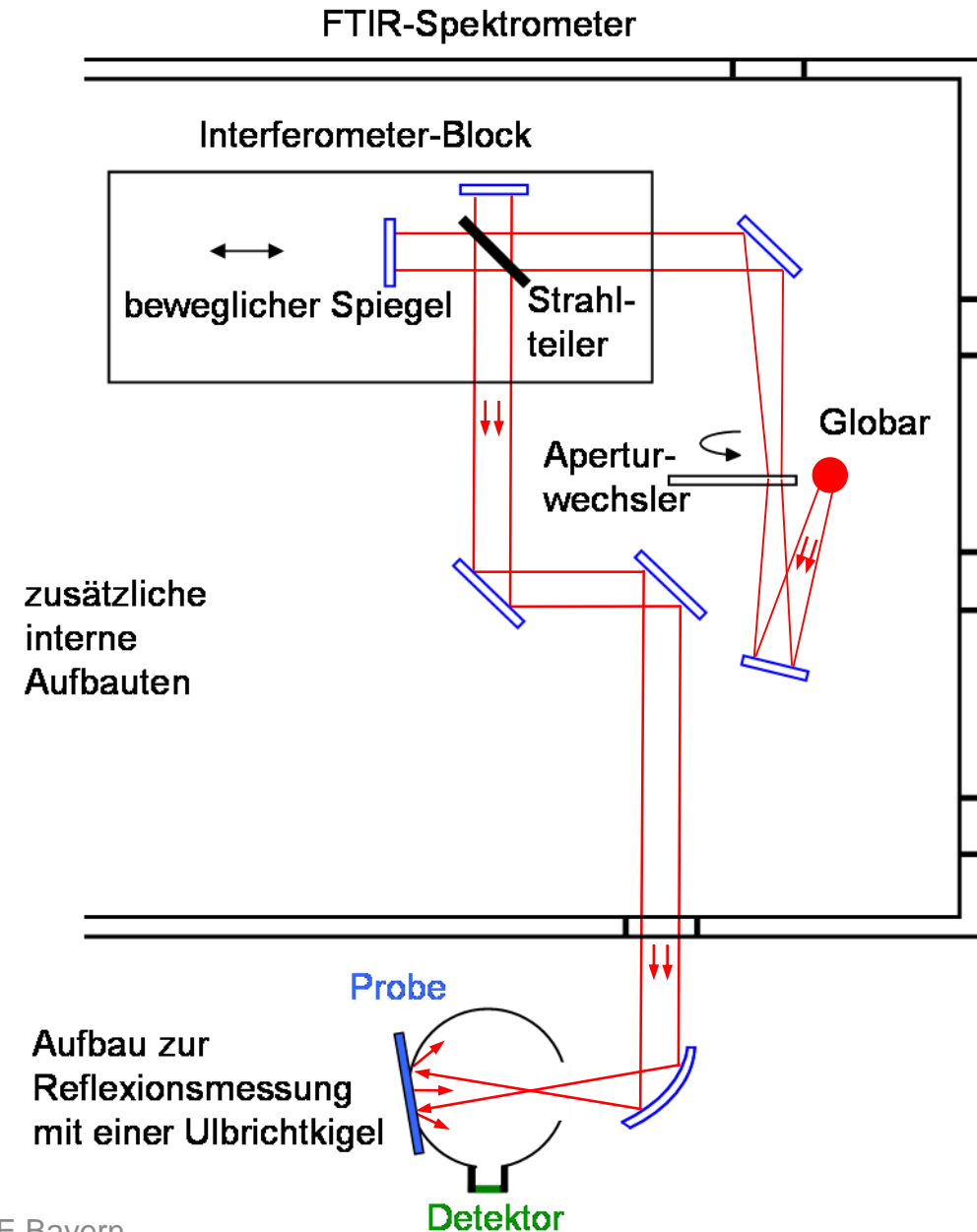
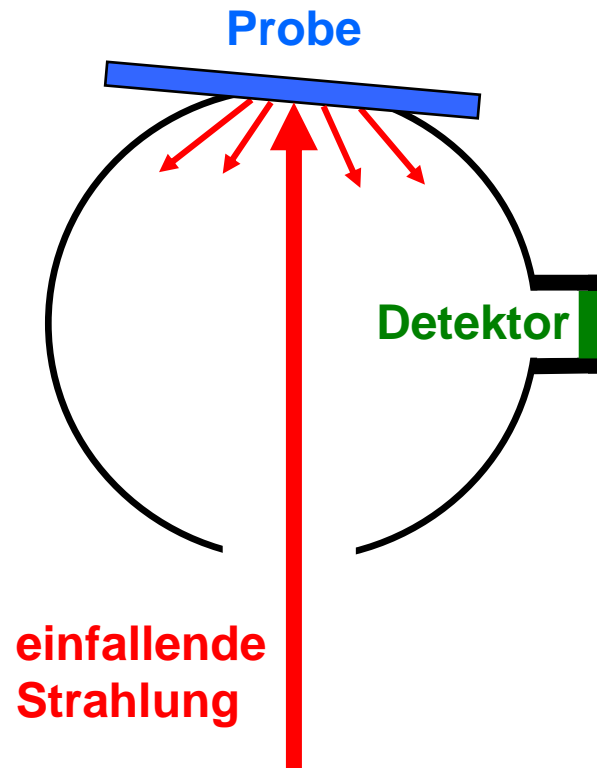


Messverfahren zur Bestimmung des Emissionsgrades

Indirektes radiometrisches Verfahren:

Ulbricht-Kugel

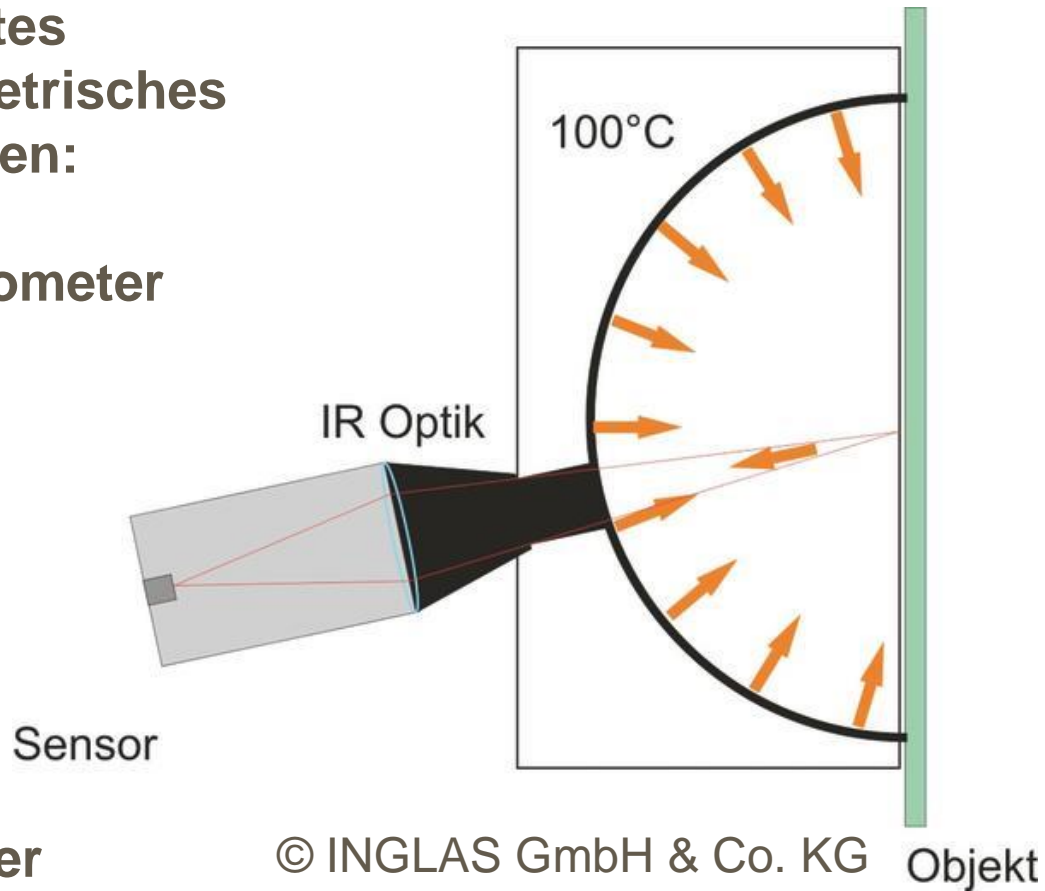
normaler spektraler Emissionsgrad



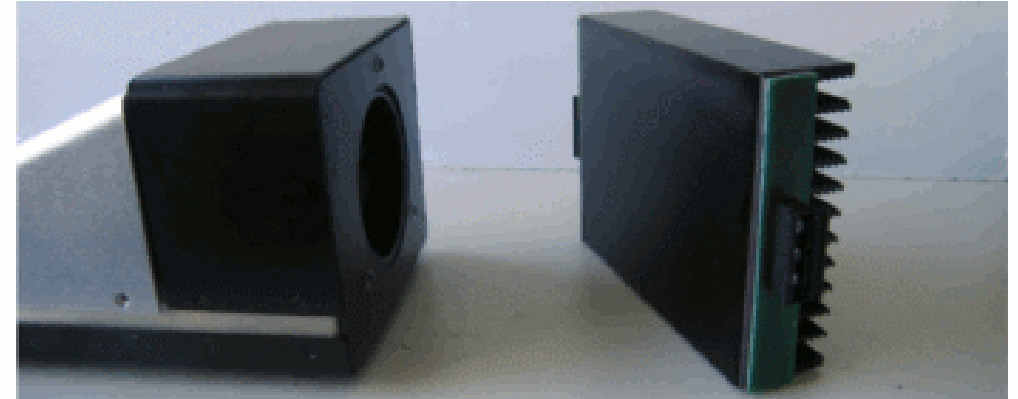
Messverfahren zur Bestimmung des Emissionsgrades

Indirektes
radiometrisches
Verfahren:

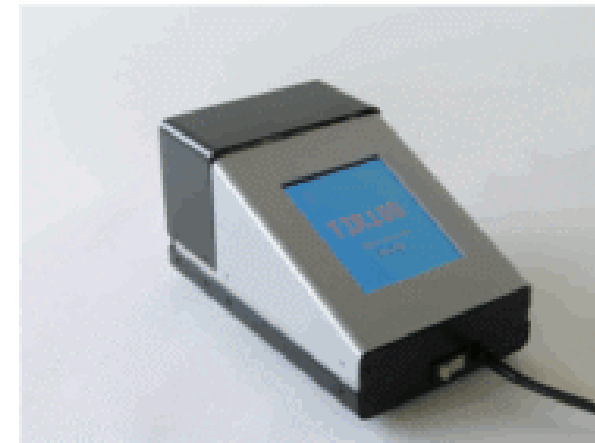
Emissiometer



normaler
Gesamt-
Emissionsgrad



© INGLAS GmbH & Co. KG



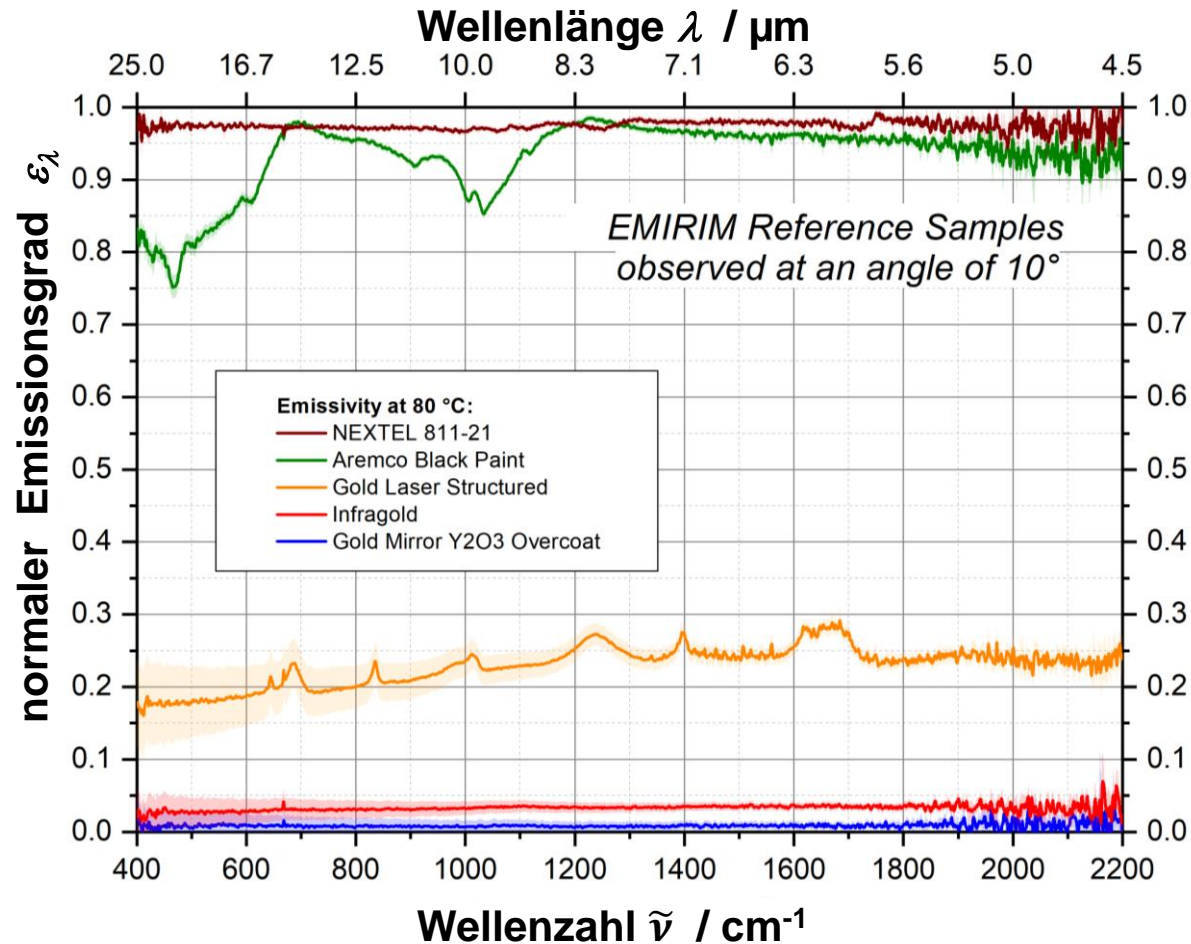
Erste Referenzproben mit definierten Eigenschaften

Präparation mehrerer Probensätze an der PTB in Berlin



Erste Referenzproben mit definierten Eigenschaften

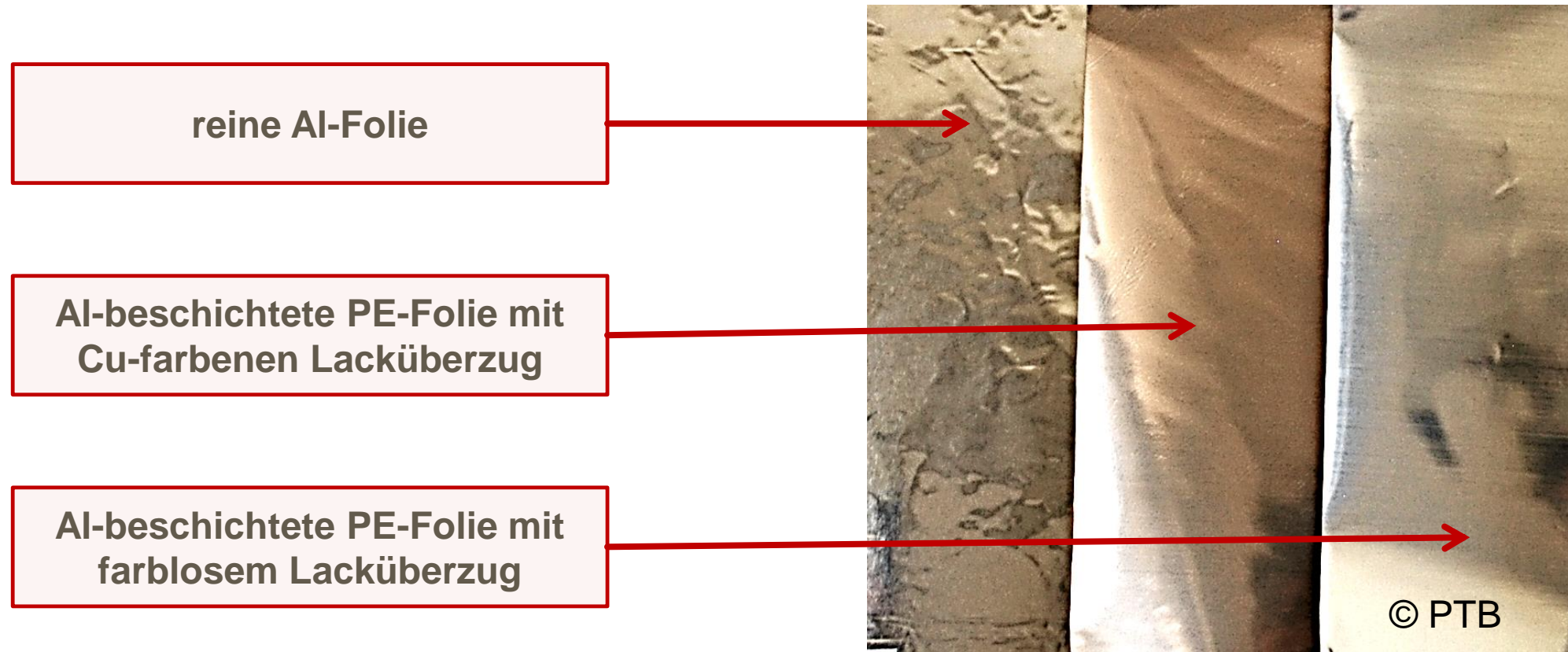
Charakterisierung der Probensätze an der PTB in Berlin



Seite	hemisphärischer Emissionsgrad bei $T = 290 \text{ K}$	Messunsicherheit ($k = 1$)
Nextel 811-21	0.944	± 0.005
Aremco	0.878	± 0.007
Gold Laser Structured	0.211	± 0.025
Infragold	0.035	± 0.011
Gold Mirror Y ₂ O ₃ Overcoat	0.017	± 0.010

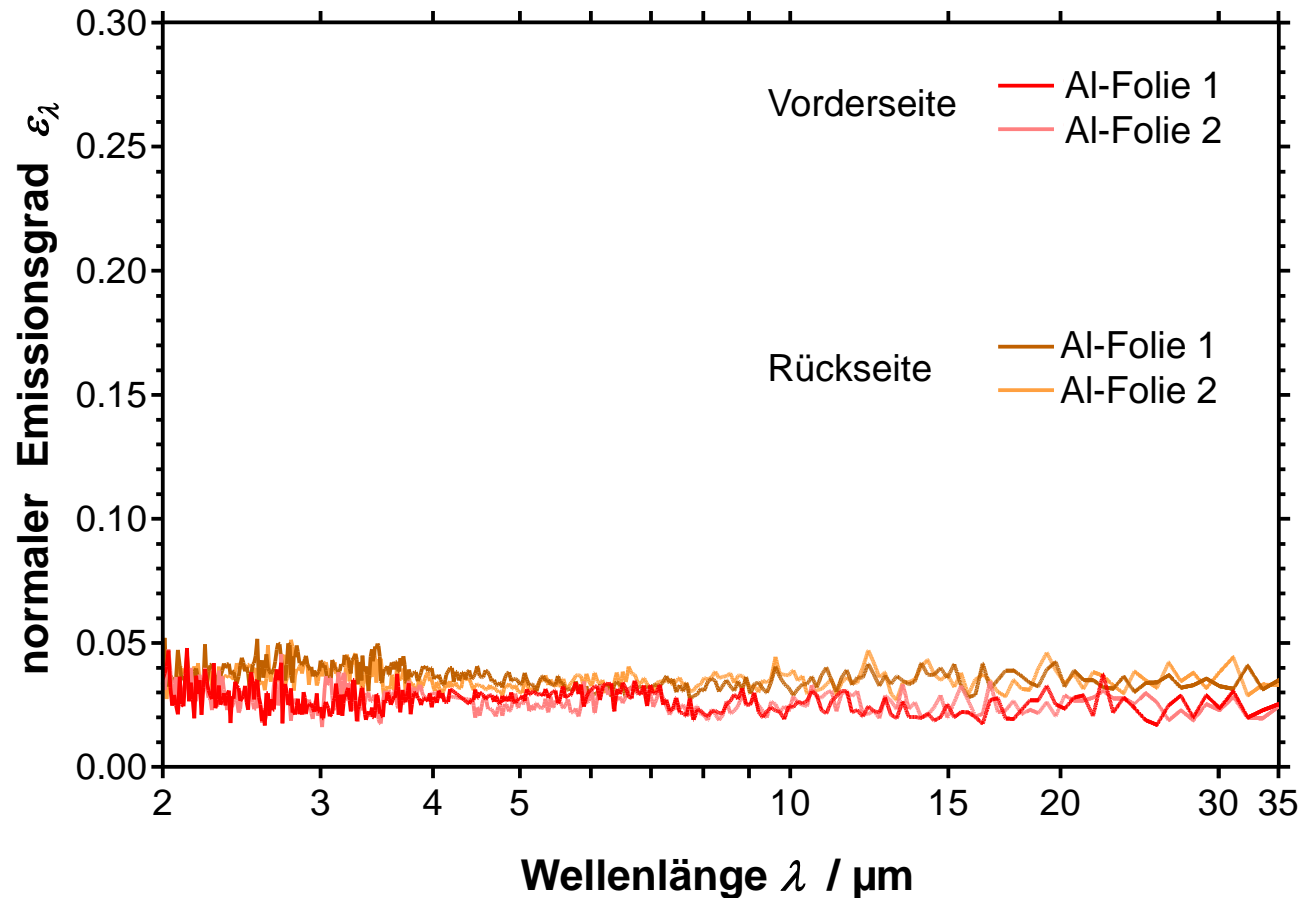
Charakterisierung von low-e Folien

Auswahl repräsentativer Folien



Charakterisierung von low-e Folien

Auswahl repräsentativer Folien

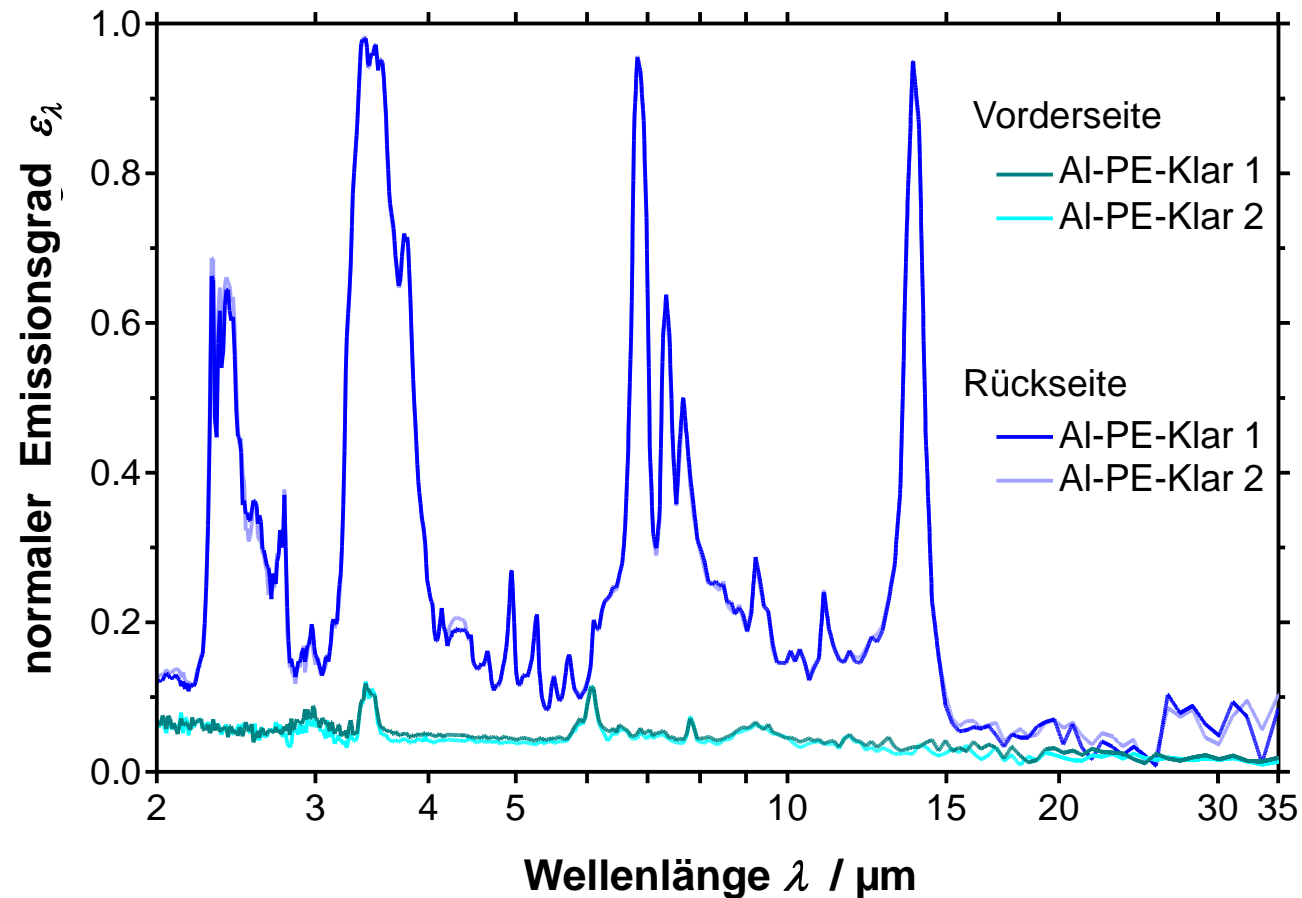


Folie	Seite	normaler Emissionsgrad bei $T = 290\text{ K}$	
		Probe 1	Probe 2
reine Al-Folie	Vorderseite	0.025	0.025
	Rückseite	0.035	0.035
Al-PE-Folie mit Klarlack			
Al-PE-Folie mit CU-Lack			

Messunsicherheit ($k = 2$): ± 0.025

Charakterisierung von low-e Folien

Auswahl repräsentativer Folien

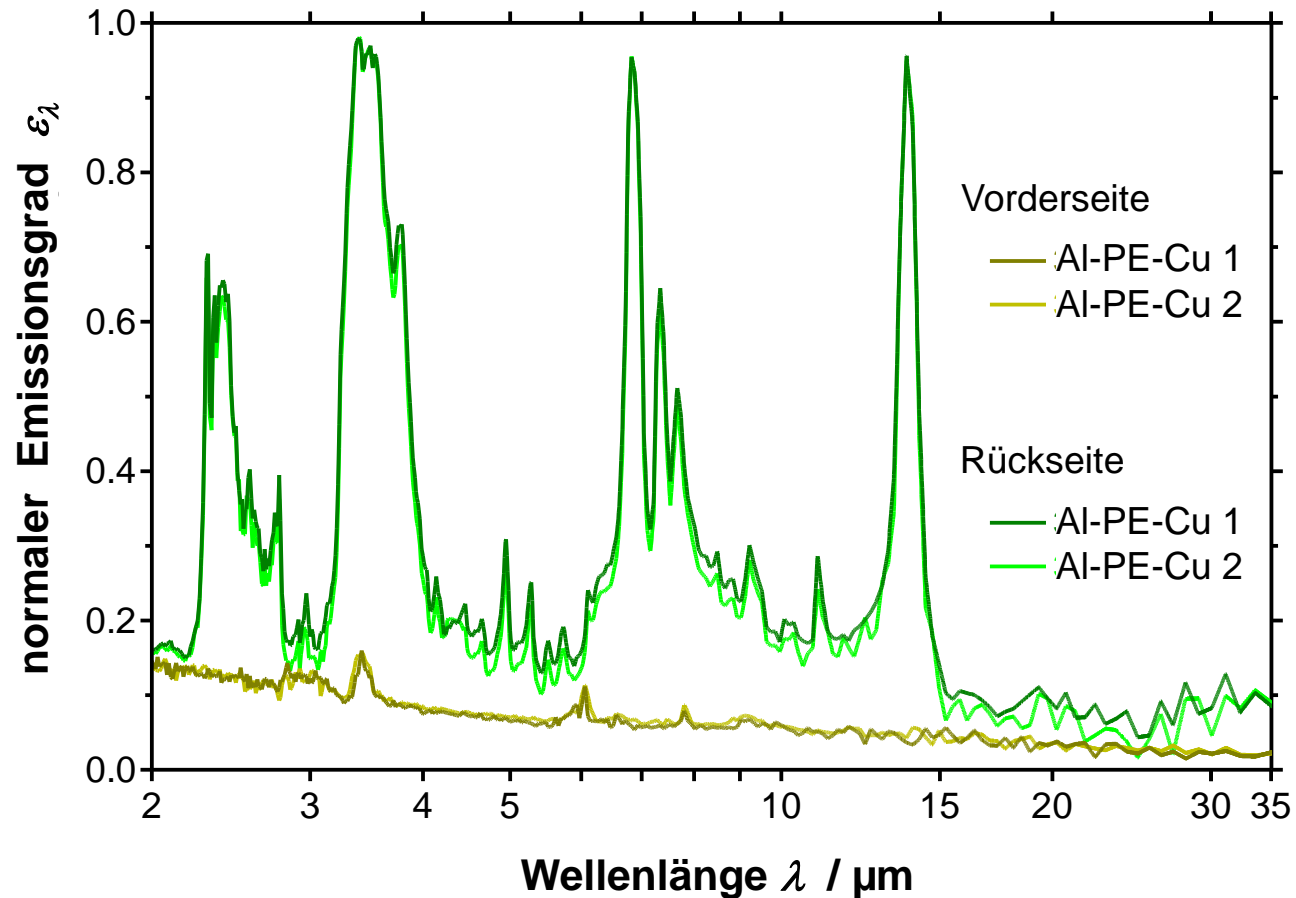


Folie	Seite	normaler Emissionsgrad bei $T = 290\text{ K}$	
		Probe 1	Probe 2
reine Al-Folie	Vorderseite	0.025	0.025
	Rückseite	0.035	0.035
Al-PE-Folie mit Klarlack	Vorderseite	0.037	0.033
	Rückseite	0.187	0.189
Al-PE-Folie mit CU-Lack			

Messunsicherheit ($k = 2$): ± 0.025

Charakterisierung von low-e Folien

Auswahl repräsentativer Folien



Folie	Seite	normaler Emissionsgrad bei $T = 290\text{ K}$	
		Probe 1	Probe 2
reine Al-Folie	Vorderseite	0.025	0.025
	Rückseite	0.035	0.035
Al-PE-Folie mit Klarlack	Vorderseite	0.037	0.033
	Rückseite	0.187	0.189
Al-PE-Folie mit CU-Lack	Vorderseite	0.046	0.048
	Rückseite	0.217	0.198

Messunsicherheit ($k = 2$): ± 0.025

Zusammenfassung und Ausblick

Bisherige Aktivitäten

- Auswahl und Evaluierung geeigneter Messverfahren
- Präparation und Test erster Referenzproben mit definierten Eigenschaften
- Charakterisierung ausgewählter Folienmuster mit low-e Oberflächen

Zukünftige Aktivitäten

- Durchführung von Vergleichsmessungen
- Präparation optimierter Referenzproben bzw. Messstandards
- Entwicklung von Messvorschriften zur zuverlässigen Bestimmung geringer Emissionsgrade

Normung

- Beitrag zu den Normen EN 16012 und EN 15976
- Unterstützung der jeweiligen Normungsgremien

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Dr. Jochen Manara

ZAE Bayern
Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.
Bereich: Energieeffizienz

Magdalene-Schoch-Str. 3
97074 Würzburg

Tel.: +49 931 70564-346
Fax: +49 931 70564-600

jochen.manara@zae-bayern.de
<http://www.zae-bayern.de>

EMPIR



The EMPIR initiative is co-funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the EMPIR Participating States

EMIRIM – FKZ: 16NRM06

**Jahrestagung 2019 des
Arbeitskreises Thermophysik
Leoben, 08.-09. April 2017**

