

Gegenüberstellung von Messungen mit zwei High-End-Thermographie-Systemen mit unterschiedlicher spektraler Sensitivität



aem

Department of Applied Electronic Materials
Institute of Sensor and Actuator Systems
Vienna University of Technology



Überblick

- **Einführung:**
 - Herausforderung: Temperatur genau zu messen ist hart!
 - Technischer Hintergrund der IR-Thermographie
 - Beispiel: Messung der Temperaturverteilung in einem Gassensor-Heizelement.
- **Versuchsaufbau und einige geometrische Details:**
 - Messanordnung, Sensor-Design, Thermographie-Systeme
- **Diskussion von Ergebnissen:**
 - Definition der ausgewerteten Größen, Vergleich der Temperatúrauswertungen
- **Zusammenfassung und Ausblick**

- Einführung:

Genauere Temperaturmessung ist hart! Herausforderung? Warum?

Technisch-physikalischer Hintergrund:

- Temperatur führt zur Emission von IR-Strahlung.

- IR-Strahlung der Umgebung kann auf dem Messobjekt reflektiert werden.

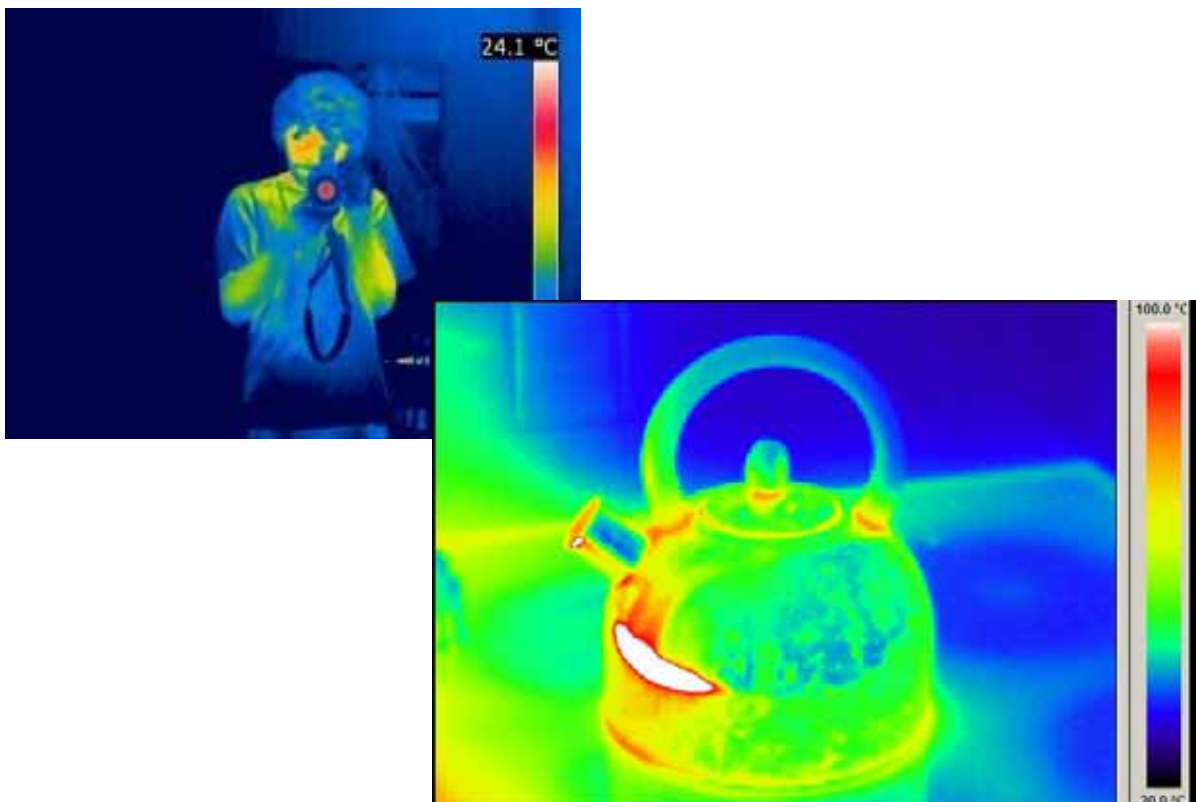
- Objekt kann transparent oder semitransparent sein und transmittiert IR-Strahlung vom Hintergrund.

- Thermographie-Kamera bildet ein Signal von der Summe aller einfallenden Strahlungskomponenten.

- Von diesem Signal wird eine Temperaturentscheidung abgeleitet.

Abenteuerlich?

3



4

Nur bei schwarzem Körper:

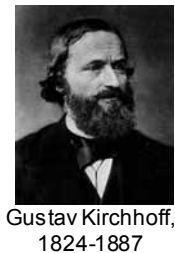
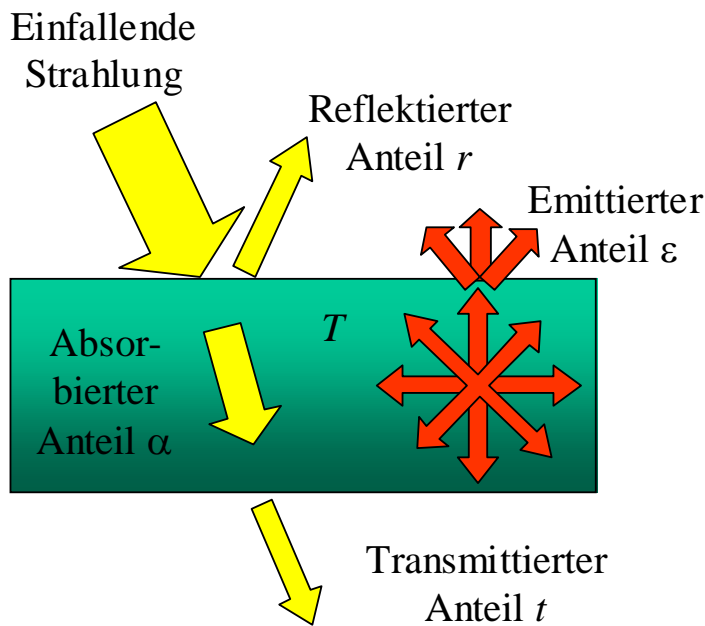
$$\varepsilon = 1$$

Es gilt:

$$r + \alpha + t = 1$$

Kirchhoffsches Strahlungsgesetz:

$$\alpha = \varepsilon$$



In das Kamera-Objektiv einfallende Wärmestrahlung

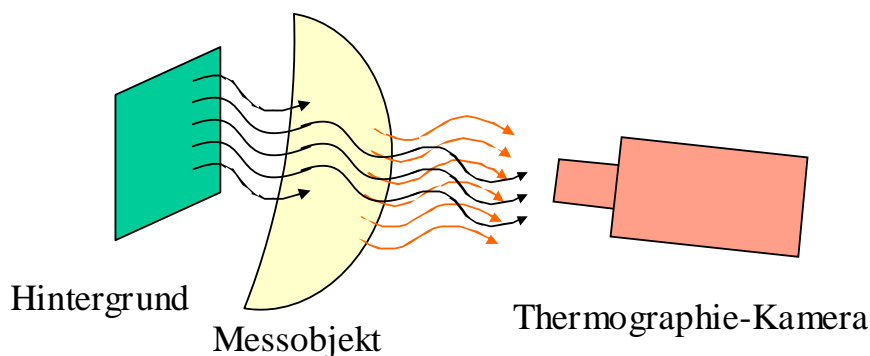
$$I_{tot} = I_O + I_{Hintergrund} \times 10^{-E}$$

$$I_O = \int_0^d p_z(T_O) \times dz$$

... die Temperaturstrahlung vom Messobjekt
 p_z ... die im Volumen generierte Wärmestrahlung

$$I_{Hintergrund} = e \times s \times T_B^4$$

... die Temperaturstrahlung vom Hintergrund
 ε ... Emissionsgrad der Hintergrundoberfläche
 σ ... Plancksche Strahlungskonstante
 E ... Extinktionskoeffizient



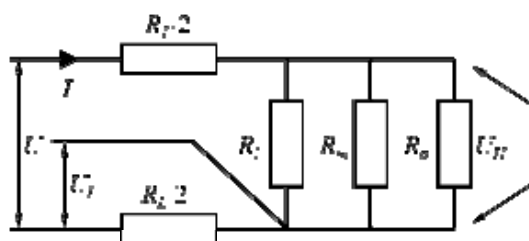
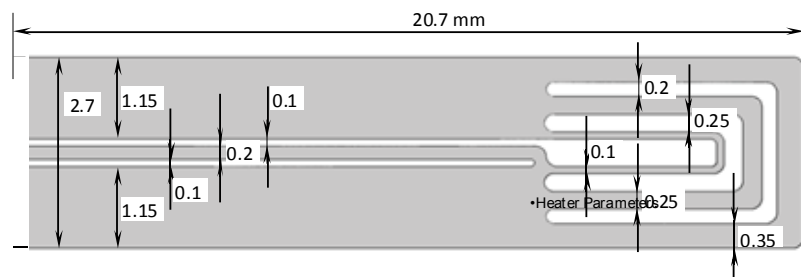
Die Interpretation der Thermogramme als Temperaturverteilung ist bei hinreichend großem Emissionsgrad ($\epsilon \cong 1$) grundsätzlich dann möglich, wenn die empfangene Strahlung von einer Oberfläche mit bekanntem Emissionsgrad emittiert wurde:

$$F_{signal} = e \times F(T_{sample})$$

In allen anderen Fällen ist eine Korrektur des Kamerasignals ϕ_{signal} erforderlich, welche die auf der Probe reflektierte Strahlung von der Umgebung berücksichtigt:

$$F_{signal} = e \times F(T_{sample}) + (1 - e) \times F_{ambient}$$

Heizelement besteht aus einem 260 μm dickem ZrO_2 -Substrate mit einer Länge von 21 mm und einer Breite von 2,7 mm sowie einer Pt-Leiterbahnstruktur.



	Elektrische Parameter	
	Bahn-widerstand Ω	Heizleistung bei $I = 550 \text{ mA}$ mW
R_T	3.97	1200
R_i	7.56	98
R_m	4.08	181
R_s	3.82	194
R_{tot}	5.53	1674

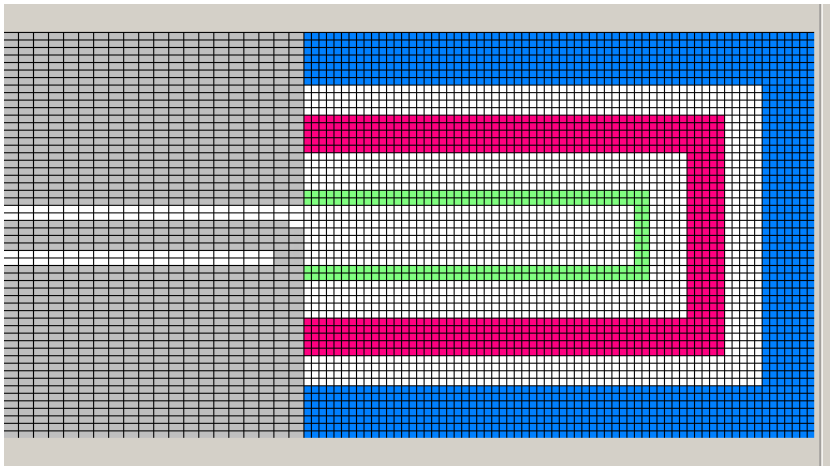
Modelldaten:

73656 orthogonale Volumenelemente in 4 Layer:

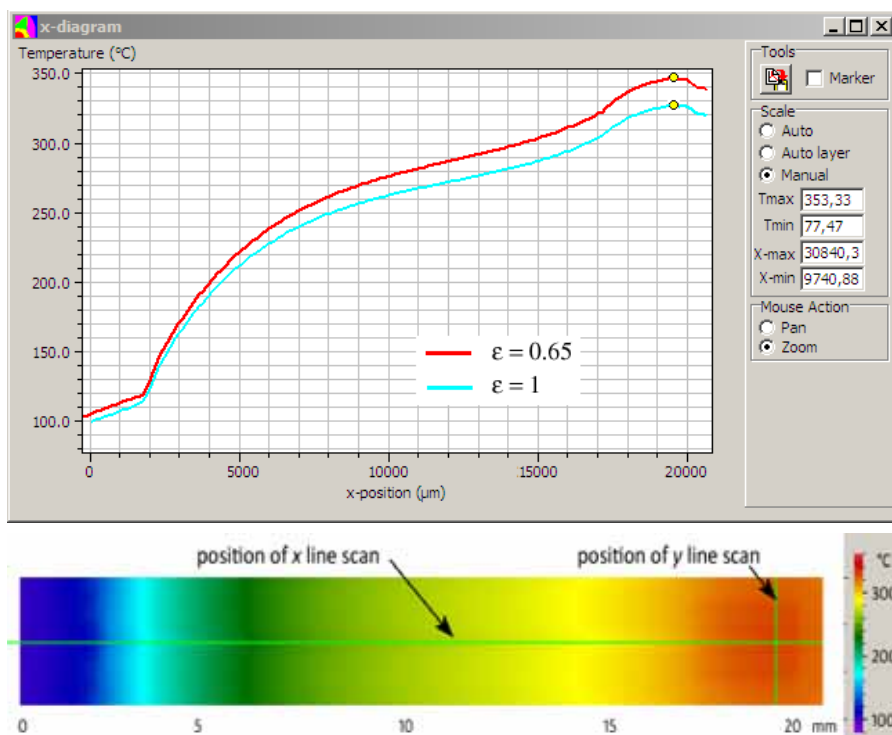
1 Layer für Anschlussdrähte, 1 Layer für Pt-Heizer-Metallisierung,

2 Layer für das ZrO_2 -Substrat

Randbedingungen: Wärmeabfuhr durch natürliche Konvektion und Wärmestrahlung

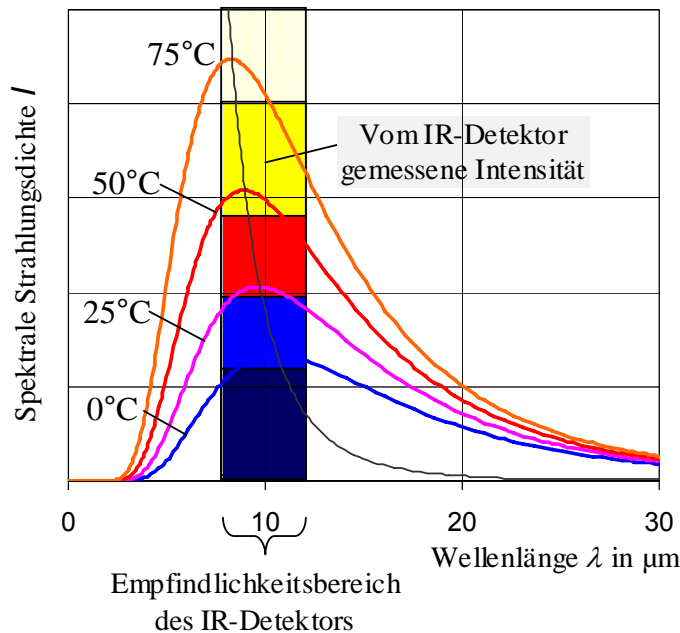


9



This simulation clearly shows that applying a coating as frequently done to increase emissivity for measuring purposes on the other hand can significantly change (lower) the object temperature if radiation is a significant heat dissipation mechanism – as it is in our case.

- Thermografie: Nur ein kleiner spektraler Strahlungsanteil wird genutzt.



11

IR Thermography

Zwei IR-Thermographie-Systeme mit verschiedener spektraler Empfindlichkeit werden eingesetzt, um den Einfluss der Wellenlängenabhängigkeit von Emissivität und Semitransparenz des Substrates zu untersuchen.

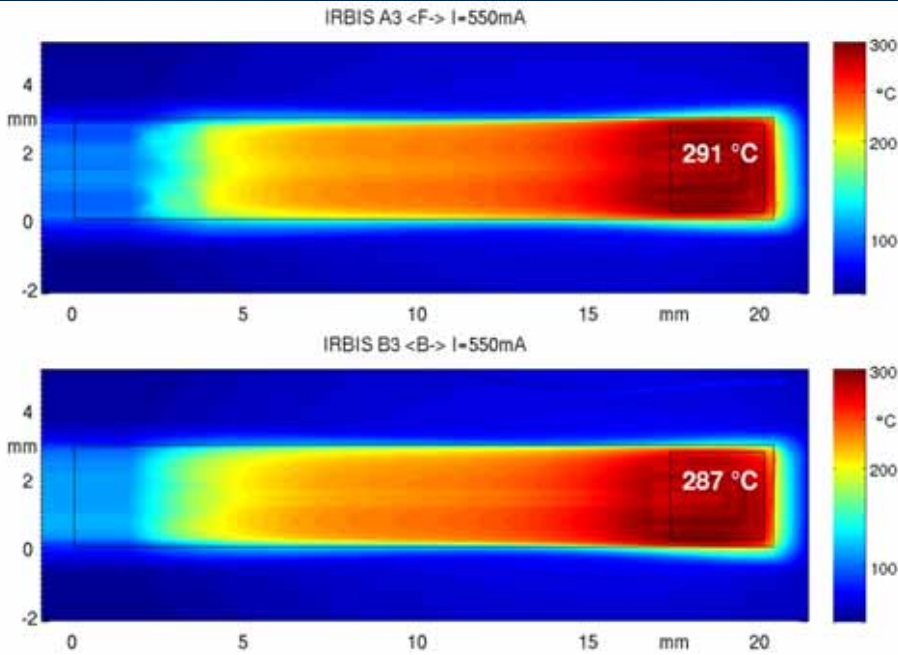
Type 1: IR thermography system with InSb IR sensor array with a spectral sensitivity of 2 to 5 μm (InfraTec, IR8300), Ge macro lens (~40 $\mu\text{m}/\text{pixel}$).



Type 2: IR thermography system with HgCdTe IR sensor with a spectral sensitivity of 8 to 12 μm and a spatial resolution of ~110 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ (Agema 900 THV).



12

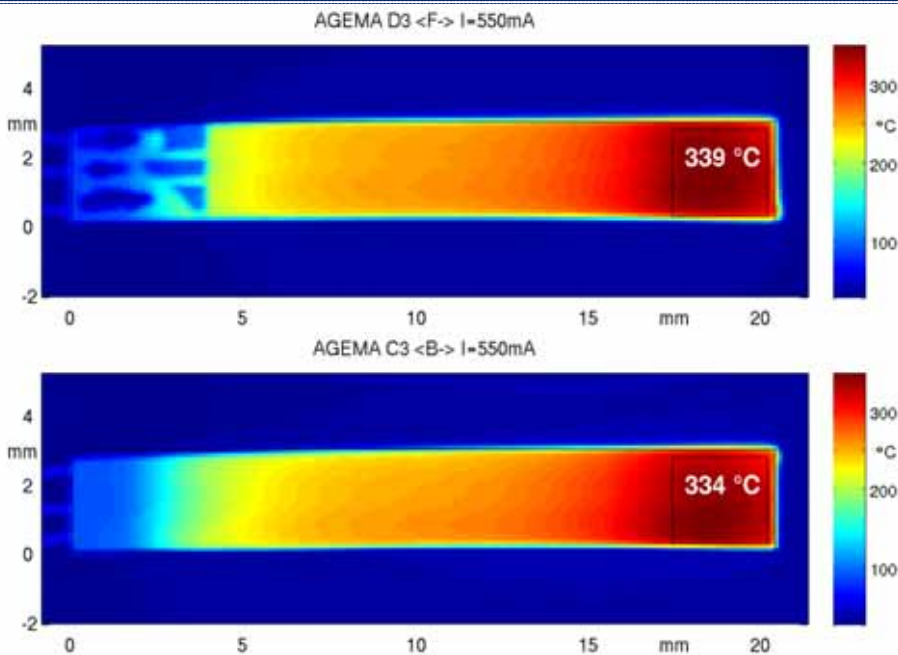


Front view
(View on heater structure)

Rear view

Type 1 Thermogram at 550 mA, without coating. **The heater structure is clearly visible from both sides.**

Small rectangle: active sensor area.

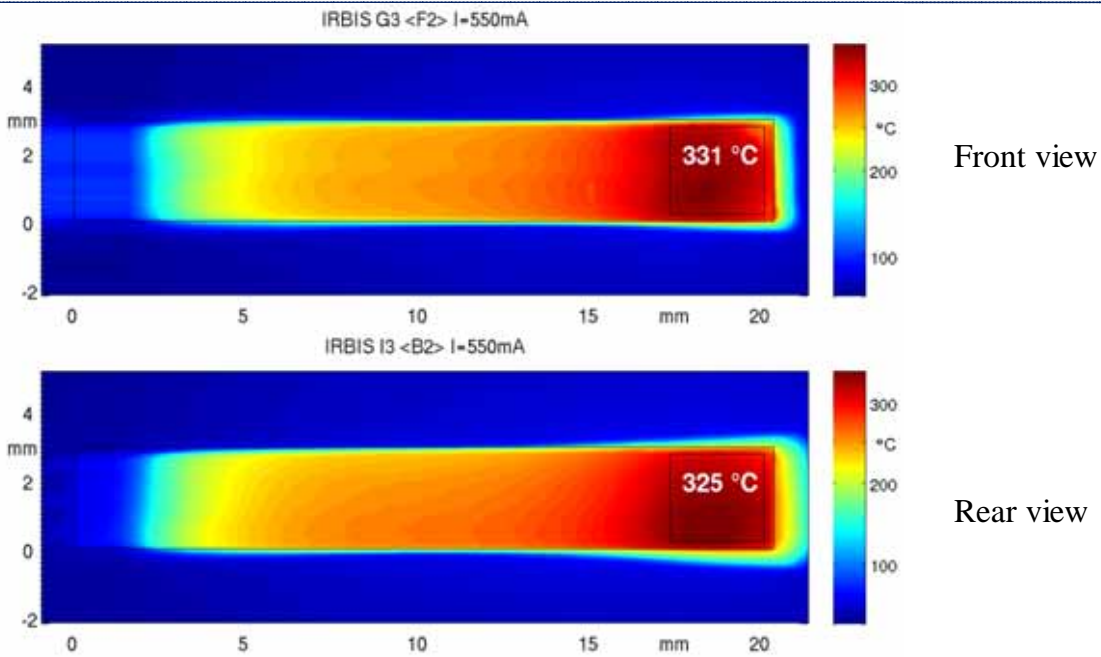


Front view

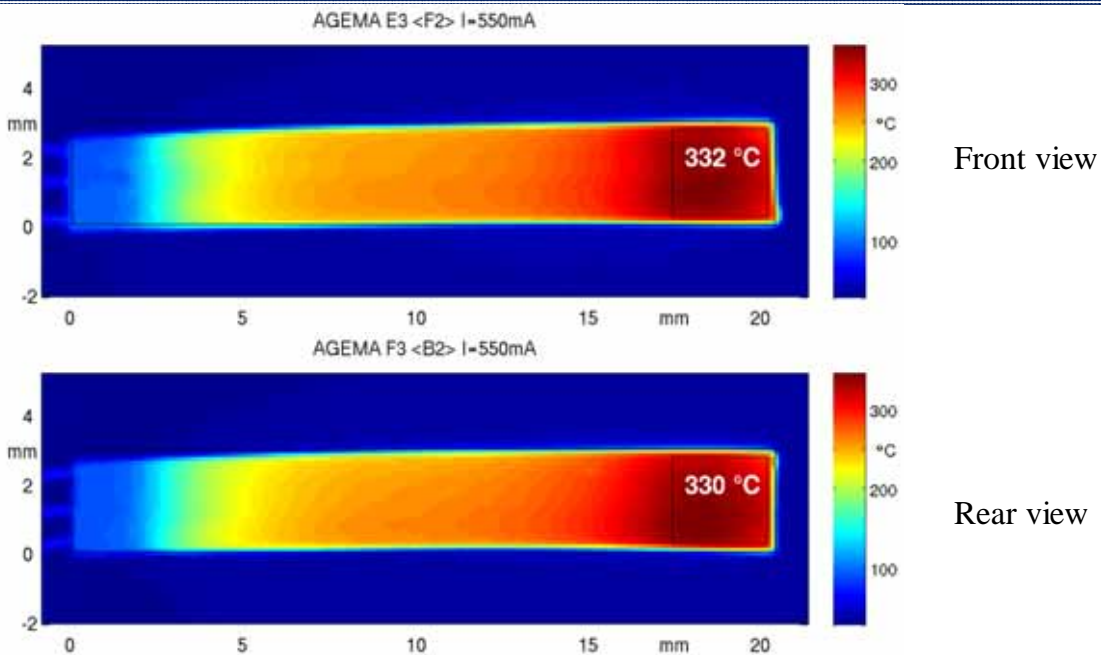
Rear view

Type 2 thermogram at 550 mA, without coating. **Heater structure is not at all visible.**

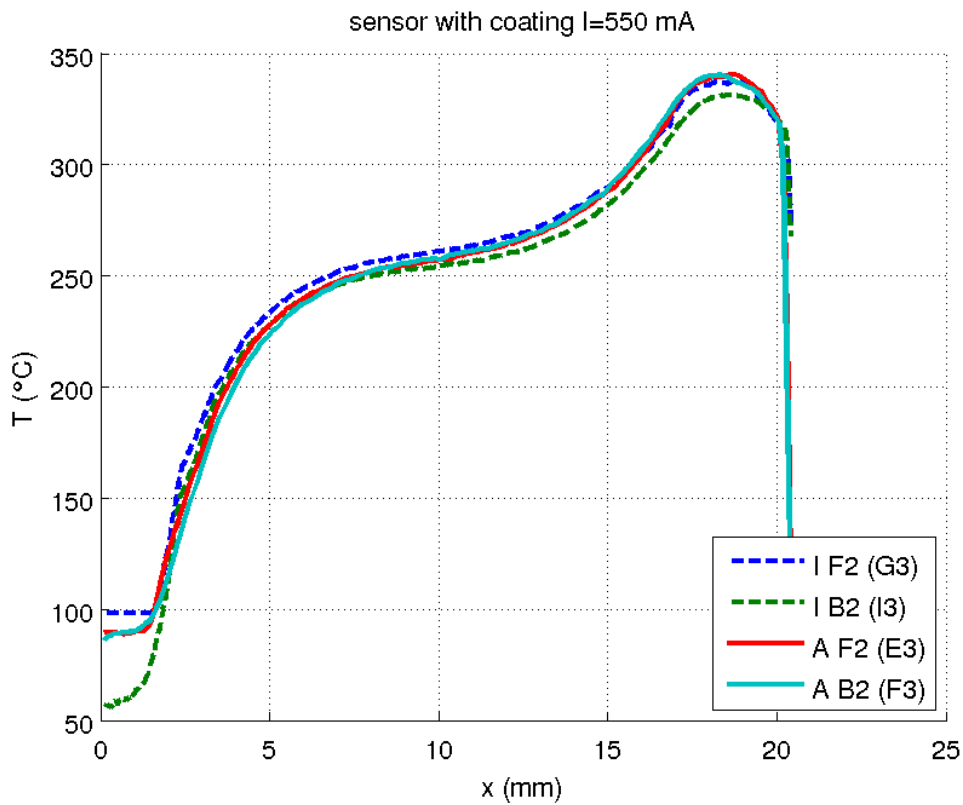
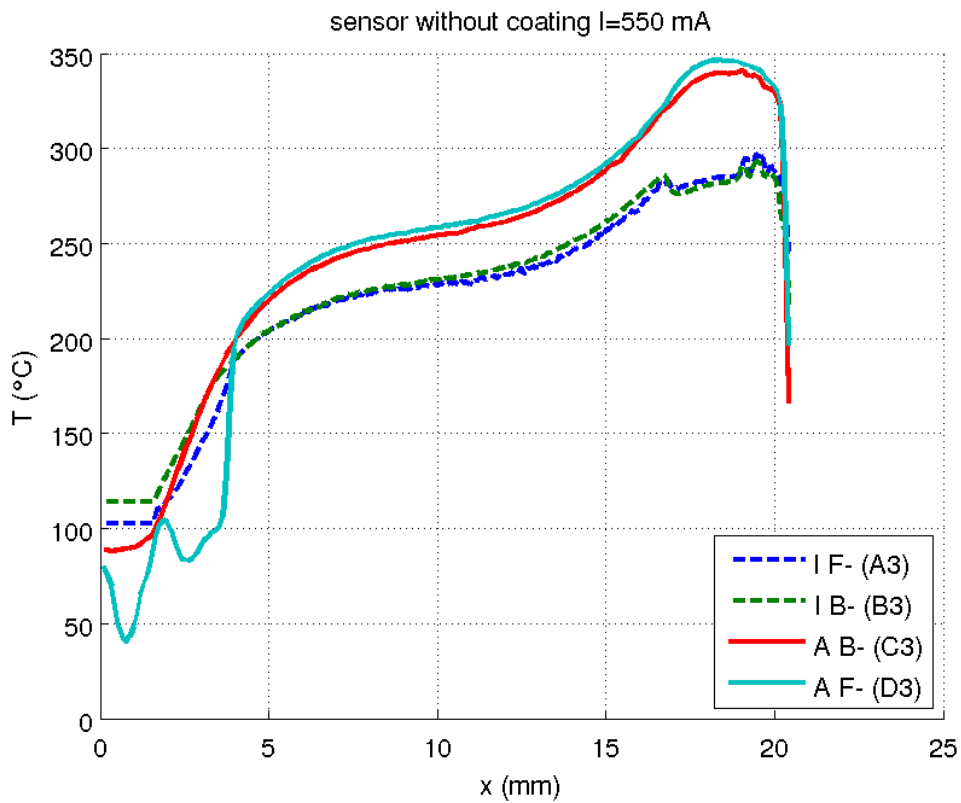
Small rectangle: active sensor area.



Type 1 thermogram at 550 mA, with coating. **The temperature in the measuring area in front view appears ca. 6 K higher than in the rear view.**
 Small rectangle: active sensor area.



Type 2 thermogram at 550 mA, with coating. **The front view does not appear significantly higher than the rear view.**
 Small rectangle: active sensor area.



Zusammenfassung und Ausblick

Thermogramme richtig zu interpretieren ist einfach bei hinreichend großem Emissionsgrad ($\varepsilon \cong 1$).

Bei kleinem Emissionsgrad ist nicht nur die zu messende Wärmestrahlung reduziert, sondern es ist auch die reflektierte Strahlung zu berücksichtigen.

Bei semitransparenten Medien kommt die Strahlung vom Hintergrund hinzu.

Einsatz eines Emissions-Coatings erlaubt es, den Emissionsgrad (annähernd) auf 1 zu setzen. Dadurch wird aber die Messbedingung geändert. Im gezeigten Fall wurde die tatsächliche Temperatur deutlich vermindert. Dieses Verhalten hatte die thermische Simulation schon vorhergesagt.

Ferner wurde die Bedeutung der Wellenlängenabhängigkeit der Emission beleuchtet: Zwei Kamerasysteme mit sehr unterschiedlichen spektralen Empfindlichkeiten liefern stark unterschiedliche Ergebnisse. Das System 1 (Infratec) hat einen InSb-Detektor (2 bis 5 μm), das System 2 (Agema) einen HgCdTe-Detektor (8 bis 12 μm).

Eine erwartungsgemäße Übereinstimmung wurde mit Coating erzielt.

Bisher gibt es kaum Möglichkeiten der Temperaturdeutung bei semitransparenten Materialien. Wünschenswert wäre eine Signalauswertung, die es erlaubt, unter Zuhilfenahme weiterer Informationen einen Temperaturverlauf im Messobjekt zu ermitteln.

19



P. Fulmek¹, J. Nicolics¹, R. Glatz¹, S. Skerlan¹, and M. Siegele²

¹) AEM, Department of Applied Electronic Materials, ISAS, Inst. of Sensor and Actuator Systems, Vienna University of Technology, Gusshausstr. 27-29, A-1040 Wien, Austria.

²) University of Applied Sciences Wiener Neustadt,
Johannes Gutenberg-Straße 3, A-2700 Wiener Neustadt Austria