

# Schwarzkörpergüte verschiedener Hohlraumstrahler

## Gruppe J

Anna Bratescu, Sayed Sadat, Sven Heihoff

Projektleiter: Isabel Pietka

Mit besonderem Dank an K. Ulrich und T. Domanski für die stets tatkräftige Unterstützung und Beratung.

### Motivation

Obwohl der ideale Schwarzkörper in der Realität nicht existiert, wird das theoretische Konstrukt rund um Schwarzkörper von thermischen Kalibrierungen in der Industrie bis hin zu theoretischen physikalischen Berechnungen in der Wissenschaft immer wieder genutzt. Daher ist es von Interesse eine möglichst gute Referenzgröße zu haben. Da nun Hohlräume oft als „gute Annäherung“ [1] genannt werden, soll im Rahmen unseren Projektes untersucht werden, wie nah man einem perfekten Schwarzkörper mit Hohlraumstrahlung tatsächlich kommen kann.

### Physikalische Grundlagen

Ein Körper, der die gesamte auf ihn einfallende em-Strahlung absorbiert, ist definitionsgemäß ein Schwarzkörper. Nach dem **Kirchhoff'schen Gesetz** entspricht dies für einen Körper, der sich im thermodynamischen Gleichgewicht mit der Umgebung befindet:

$$\alpha = \varepsilon = 1 \quad (1)$$

Zur allgemeinsten Beschreibung der Strahlungseigenschaften von Schwarzkörpern dient dabei das **Planck'sche Strahlungsgesetz**, welches die spektrale Strahlungsintensität in Abhängigkeit der Temperatur wiedergibt:

$$L_\lambda(T)d\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{d\lambda}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (2)$$

Integration von (2) über alle Wellenlängen von null bis unendlich liefert das **Stefan-Boltzmann-Gesetz**, welches seinerseits die gesamte emittierte Strahlungsintensität der Körper wiedergibt:

$$I = \varepsilon\sigma T^4 \quad (3)$$

Die IR-Kamera arbeitet dabei über Gleichung (3), indem sie Strahlungsintensitäten aufnimmt und diese unter Berücksichtigung weiterer Parameter, wie Raumtemperatur, reflektierter Temperatur und Luftfeuchtigkeit in eine Objekttemperatur umrechnet.

Hierbei können Hohlkörper als gute Annäherung an Schwarzkörper nur gesehen werden, da em-Strahlung in ihnen sehr oft hin und her reflektiert wird (Abb. 1).

Da bei allen nicht ideal reflektierenden Körpern bei jedem Reflex ein Teil der Strahlung absorbiert wird, sorgt die häufige Reflexion für einen hohen Absorptionsgrad, wonach dann im thermodynamischen Gleichgewicht (1) (annähernd) erfüllt ist.

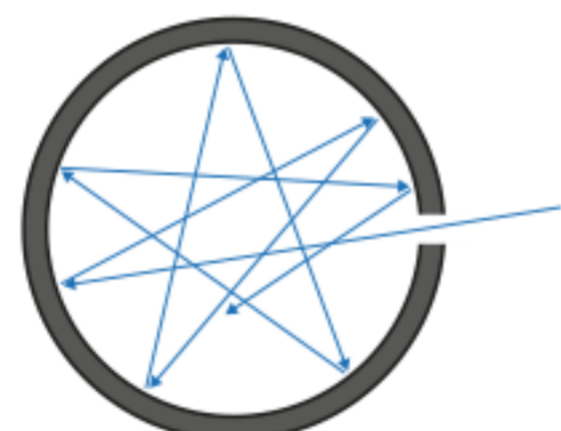


Abb. 1: Hohlraumreflexion [2]

$\alpha$ – Absorptionsgrad	$\lambda$ – Wellenlänge
$\varepsilon$ – Emissionsgrad	$k$ – Boltzmann-Konstante
$\sigma$ – Stefan-Boltzmann-Konstante	$c$ – Lichtgeschwindigkeit
$h$ – Planck'sche Wirkungsquantum	$T$ – Temperatur

### Ergebnisse

		unbearbeitet	weiß lackiert	schwarz lackiert
Aluminium	bei 230°C	0,70	0,96	0,97
	bei 150°C	0,68	0,97	<b>1,00</b>
Messing	bei 230°C	0,80	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
	bei 150°C	0,80	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Stahl	bei 230°C	0,84	0,99	0,97
	bei 150°C	0,88	0,95	1,00

Tab.1: Emissionswerte von Zylindern

	unbearbeitet	weiß lackiert	schwarz lackiert
bei 230°C	0,89	0,98	0,97
bei 150°C	0,93	0,95	<b>1,00</b>

Tab.2: Emissionswerte von Aluminium-Kegeln

Messunsicherheit: Temperatur  $\pm 20^\circ\text{C}$

### Fazit

- Die Kegel schneiden im unbearbeiteten Zustand besser ab als die Zylinder, was vermutlich an der wesentlich kleineren Bodenfläche parallel zur Hohlkörperöffnung liegt.
- Darüber hinaus sind die lackierten Körper allgemein alle besser als die unlackierten. Dies gilt unabhängig von der Farbe des Lacks, da bei einer zusätzlichen Messung festgestellt werden konnte, dass der Emissionsgrad beider Lacke im Infraroten gleich ist.
- Bei den unlackierten Körpern führen glänzende Materialien zu einem schlechteren Emissionsgrad, wohingegen dies bei den lackierten weitestgehend materialunabhängig ist.

### Aufbau

- IR-Kamera FLIR E6 WIFI
- Computer
- Öfen mit Steuergeräten
- Thermoelemente
- Stative
- Zange, Handschuhe
- Hohlkörper
- Lacke (Mattschwarz, Mattweiß)

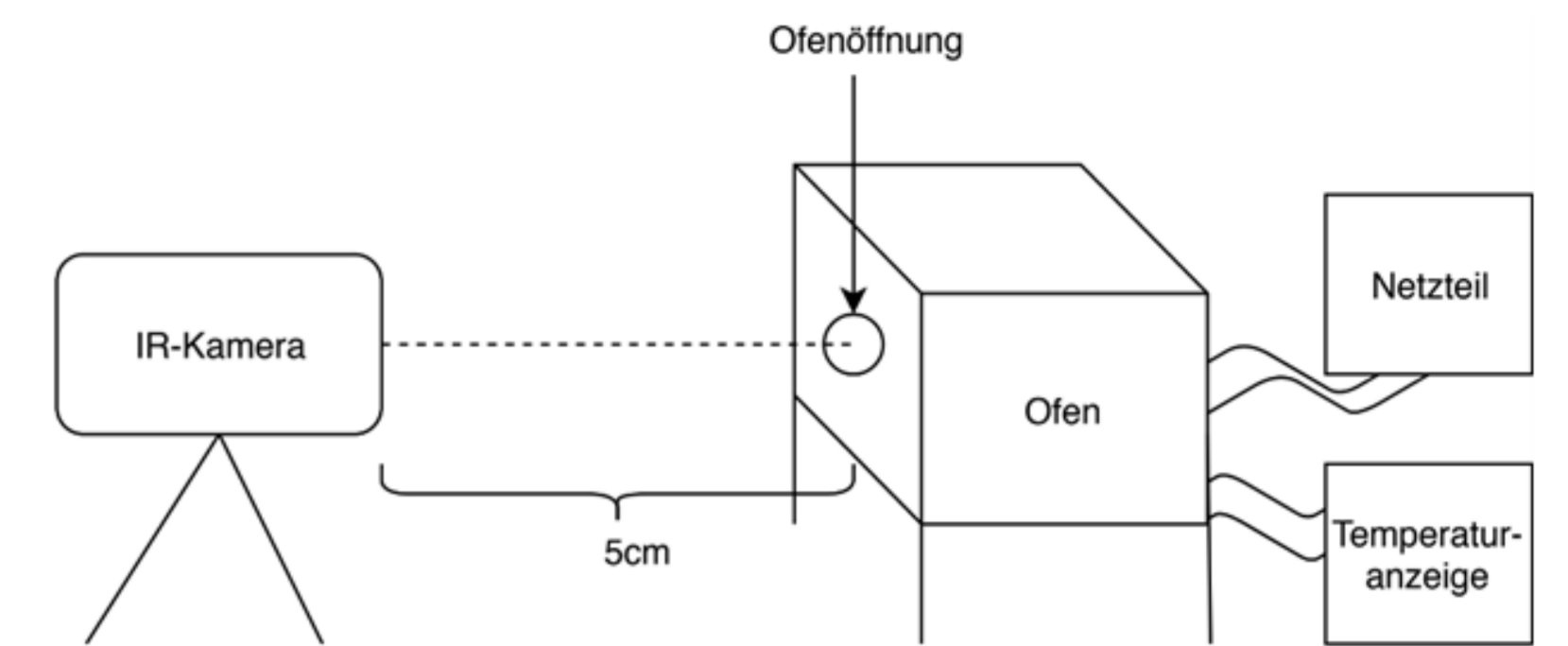


Abb. 2 : Skizze des Aufbaus

Die Hohlkörper werden zweimal aufgebohrt: hinten auf 1,8 mm (Thermoelement), vorne auf 5mm (Kamera). Außerdem wird jeweils einer Innen schwarz und einer weiß lackiert, während einer unbearbeitet gelassen wird.

### Durchführung

- Einschalten der Öfen, Justierung der Thermoelemente (auf Kontakt mit innerer Hohlkörperwand achten), einstellen der Steuergeräte auf  $230^\circ\text{C}$  bzw.  $150^\circ\text{C}$  und warten bis sich das thermodynamische Gleichgewicht eingestellt hat (Dauer: ca. 30 Minuten)
- Anschließen der IR-Kamera an den Computer (Software: FLIR Tools) und bestimmen der Luftfeuchtigkeit, Atmosphärentemperatur und Reflexionstemperatur
- Ermitteln des **Emissionsgrades**  $\varepsilon$  durch variieren bis die von der IR-Kamera angezeigte Temperatur mit der im Körper übereinstimmt

### Bestimmen des kleinsten noch messbaren Lochdurchmessers

Um einerseits den Umgebungseinfluss zu minimieren und andererseits den Hohlkörper möglichst intakt zu belassen, ist der kleinstmögliche Lochdurchmesser zu bestimmen.

Dazu wird ein IR-Bild vom Messaufbau (Abb.3) in eine Pixelmatrix (Abb.4) übersetzt. Stellt man nun eine Spalte dieser Matrix (Abb.5) dar, so ergibt sich der minimale Lochdurchmesser aus der Summe der Breite von steigender und fallender Flanke ( $4,0 \pm 1,2$ ) mm. Die Plateaufläche wird von 65 Pixeln gebildet.

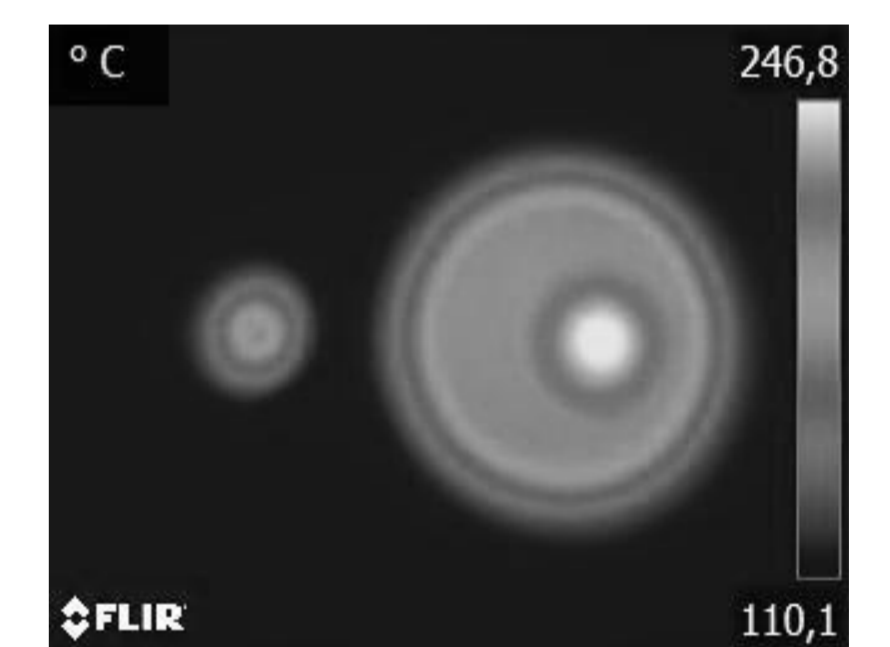


Abb. 3: IR-Bild zur Pixelmatrix

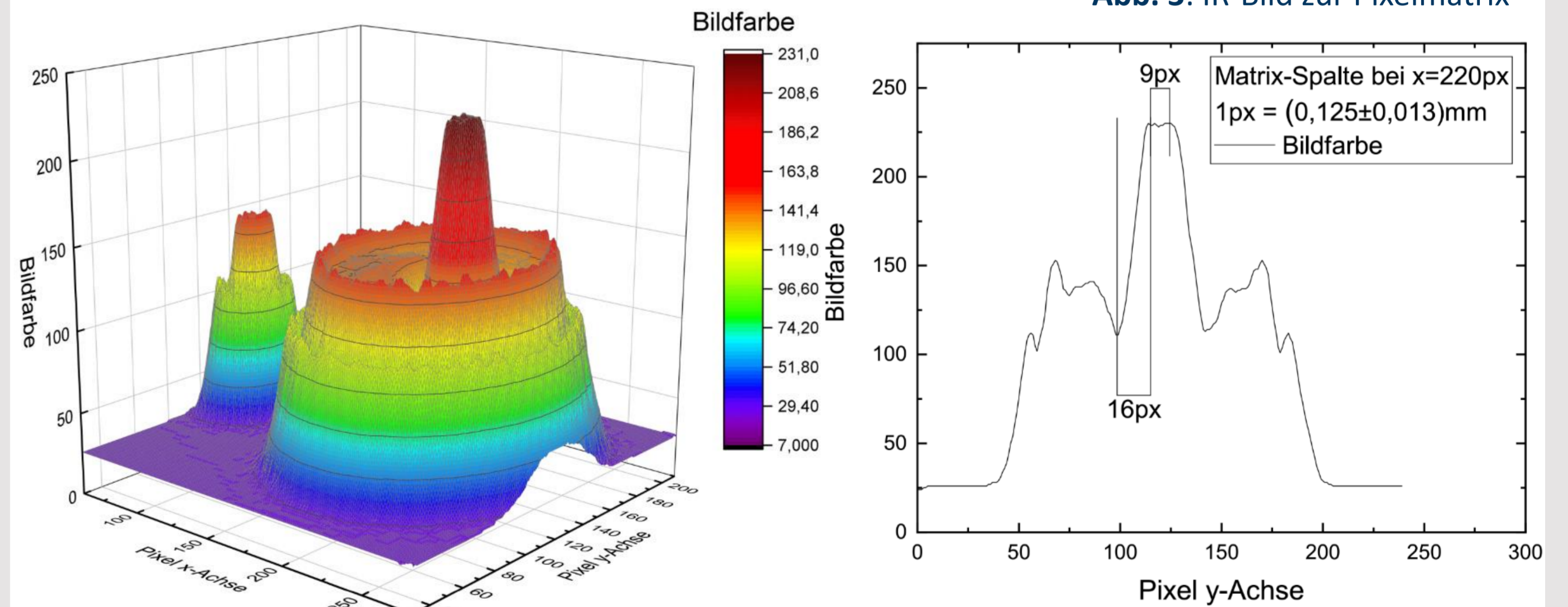


Abb. 4: Pixelmatrix zum IR-Bild

Abb. 5: Apparatefunktion

### Fehlerquellen

- Verhältnis von Körpervolumen/Körperöffnung
- IR-Kamera nimmt Außen- und Innenfläche der Hohlkörper mit auf
- Trägheit von Öfen und Thermoelementen ( $\pm 20^\circ\text{C}$ )
- Schlechtes thermodynamisches Gleichgewicht ( $\pm 10^\circ\text{C}$ )
- Auslesen der Rohdaten (softwarebedingt nicht möglich)

### Bemerkungen

Es wäre nun noch interessant, den Einfluss folgender Punkte auf den Emissionsgrad zu untersuchen:

- Andere Messmethodik bspw. Spektroskopie
- Stabilere, bessere Messvoraussetzungen
- Weitere Messreihen (u.a. zur Fehlerabschätzung)