

Infrarotthermografie

1 Ziel des Praktikumsversuches

Kennenlernen des Meßprinzips der Infrarotthermografie und berührungslose Messung der Temperatur verschiedener Objekte.

2 Grundlagen

2.1 Prinzip der Infrarot-Strahlungstemperaturmessung

Die Verfahren der Infrarot-Strahlungstemperaturmessung (Thermografie) beruhen auf dem physikalischen Prinzip, dass Körper mit einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes von 0,0K (-273,15°C) elektromagnetische Strahlung aussenden. Bestimmt man deren Intensität, ist man in der Lage, daraus die Temperatur (Oberflächentemperatur) des aus-sendenden Körpers berührungslos zu bestimmen.

2.2 Infrarotstrahlung im Elektromagnetischen Spektrum

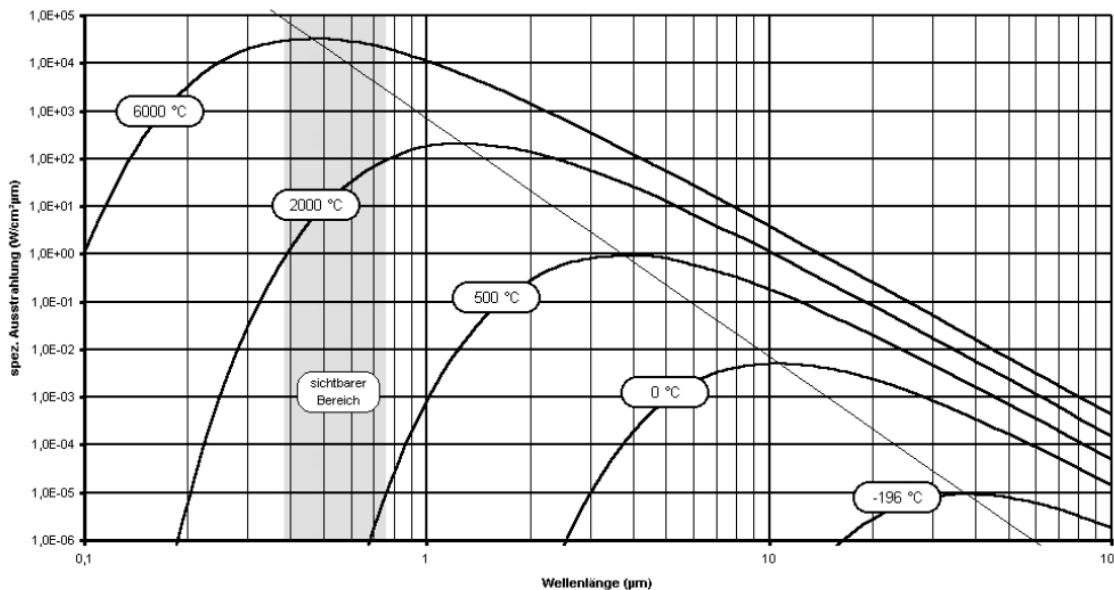
Infrarotstrahlung ist jener Teil des elektromagnetischen Spektrums, der sich von ca. 760nm bis zu etwa 1mm Wellenlänge erstreckt.

Wellenlänge	0,8µm.....2µm	2µm.....6µm	6µm.....20µm
Teilbereich des Infrarot	nahes Infrarot	mittleres Infrarot	fernes Infrarot

Tab. 1 Teilbereich des Infrarot

2.3 Physikalische Gesetzmäßigkeiten

Die in der Praxis vorkommenden Körper weisen sehr vielfältige Strahlungseigenschaften auf. So hat es sich bewährt, zunächst die vereinfachten Gesetzmäßigkeiten für einen Modellkörper mit idealen Strahlungseigenschaften zu betrachten, um sie dann auf die real vorkommenden Objekte anzuwenden. Dieser Modellkörper ist in der Strahlungsphysik der Schwarze Strahler.



$$M_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5 * [\exp(c_2/\lambda T) - 1]}$$

$$c_1 = 3,74 * 10^{-16} \text{ W}^* \text{m}^2$$

$$c_2 = 1,44 * 10^{-2} \text{ K}^* \text{m}$$

Abb. 1 PLANCKsches Strahlungsgesetz

Er zeichnet sich dadurch aus, daß er von allen Körpern gleicher Temperatur die größtmögliche Intensität der ausgesandten Strahlung aufweist. Die spektrale Verteilung dieser Strahlung wird durch das **PLANCKsche Strahlungsgesetz** beschrieben (Abb. 1). Aus dieser Darstellung ist erkennbar, daß die spektrale Zusammensetzung der ausgesandten Strahlung mit der Objekttemperatur variiert. So senden beispielsweise Körper mit Temperaturen von ca. 500°C auch Strahlungsanteile im sichtbaren Bereich aus. Weiterhin ist festzustellen, daß bei jeder Wellenlänge die Strahlungsintensität bei steigender Temperatur zunimmt.

Durch die Integration der spektralen Strahlungsintensität über alle Wellenlängen erhält man den Wert für die gesamte vom Körper ausgesandte Strahlung. Dieser Zusammenhang wird als **STEFAN-BOLZMANNsches Gesetz** bezeichnet.

$$M = \sigma \cdot T^4 \qquad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

Aufgrund des einfachen mathematischen Zusammenhanges ist es sehr gut für grobe Abschätzungen insbesondere bei Berechnungen zum Wärmehaushalt von Objekten geeignet.

Aus der grafischen Darstellung des **PLANCKschen Strahlungsgesetzes** wird ersichtlich, daß die Wellenlänge, bei der die ausgesandte Strahlung eines schwarzen Strahlers ein Maximum aufweist, sich bei veränderlicher Temperatur verschiebt. Das **WIENSche Verschiebungsgesetz** läßt sich durch Differentiation aus der **PLANCKschen Gleichung** ableiten.

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2896 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

Je geringer die Temperatur des zu messenden Objektes ist, desto weiter verschiebt sich dessen Strahlungsmaximum hin zu größeren Wellenlängen. In der Nähe der Raumtemperatur liegt dieses etwa bei 10µm.

Körper	Temperatur	Strahlungsmaximum
Tiefkühlkost	-18°C	11,4µm
Haut	32°C	9,5µm
kochendes Wasser	100°C	7,8µm
Eisen, dunkelglühend	600°C	3,3µm
Eisen, hellglühend	1200°C	2,0µm

Tab. 2 Strahlungsmaximum in Abhängigkeit von der Temperatur

2.4 Abweichungen bei realen Meßanordnungen

Einflüsse durch die Meßstrecke

Da die Infrarotthermografie ein berührungsloses Verfahren ist, wird das Meßergebnis vom Medium der Meßstrecke (Luft) beeinflusst. Die Transmissionseigenschaften der Luft sind sehr stark wellenlängenabhängig (Abb. 2). Während im langwelligen Bereich (8µm-14µm) die Durchlässigkeit auch über große Entfernungen gleichmäßig hoch ist, treten im kurzwelligen Bereich bereits bei Meßentfernungen von einigen zehn Metern meßbare Abweichungen durch die Atmosphäre auf.

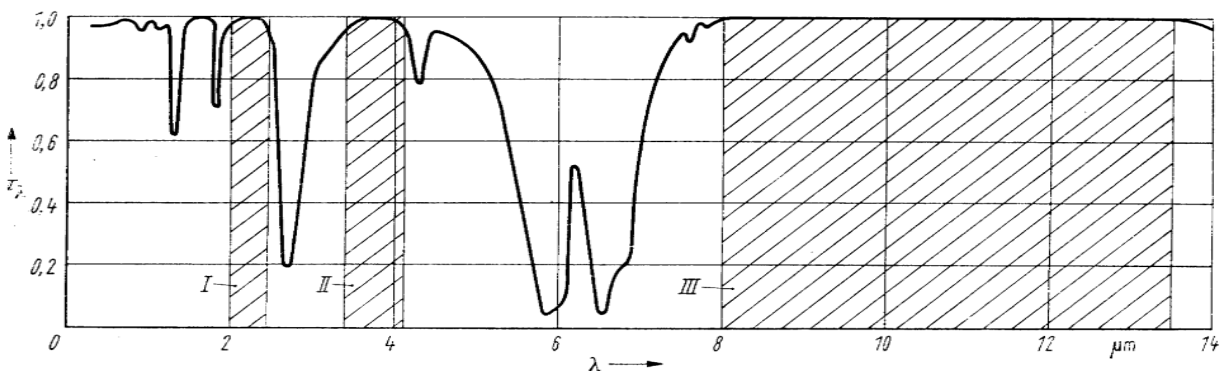


Abb. 2 Spektraler Transmissionsgrad von Luft

Einflüsse durch das Meßobjekt

Bei praktischen Messungen müssen die Emissionseigenschaften der Meßobjekte berücksichtigt werden. Im Gegensatz zum Schwarzen Strahler ($\epsilon=1$) ist der Emissionsgrad realer Meßobjekte wellenlängenabhängig (Abb. 3, 4). Zudem ist ein Einfluß folgender Parameter möglich: Materialzusammensetzung, Oxidschicht auf der Oberfläche, Rautiefe der Oberfläche.

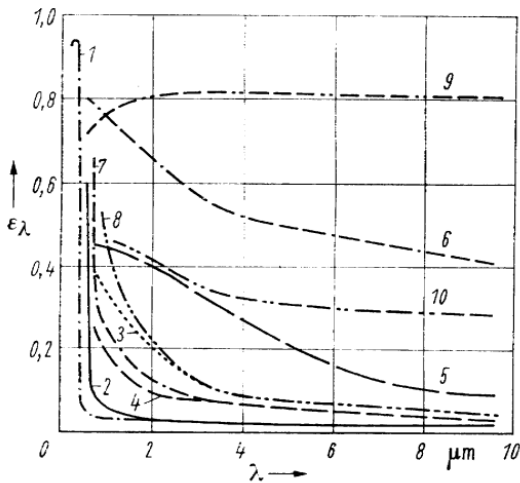


Abb. 3 Spektraler Emissionsgrad von Metallen und anderen reinen Stoffen (1 Silber, 2 Gold, 5 Chrom, 6 Graphit, 9 Selen)

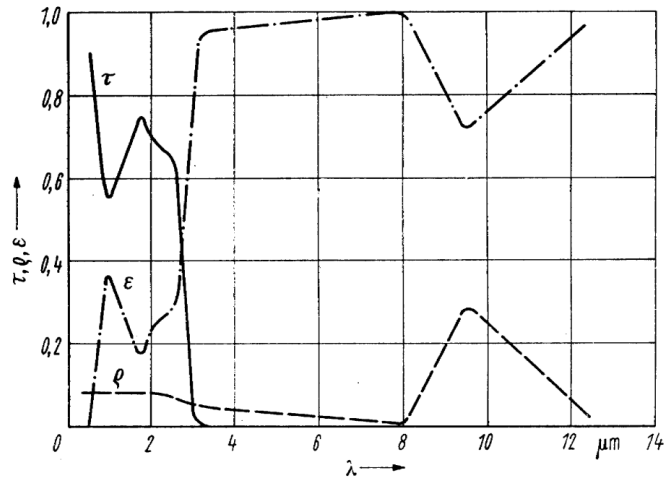


Abb. 4 Spektraler Emissions-, Transmissions- und Reflexionsgrad von Fensterglas

Einige Spezialfälle der Strahlungseigenschaften von Körpern:

Schwarzer Strahler: $\epsilon=1$ $\tau=0$ $\rho=0$ idealer Spiegel: $\epsilon=0$ $\tau=0$ $\rho=1$ ideales Fenster: $\epsilon=0$ $\tau=1$ $\rho=0$

3 Aufbau der Thermokamera

Kernstück eines Thermografiergerätes ist dessen Infrarot-Strahlungsdetektor, welcher die Aufgabe hat, die Bildinformation des Objektes in ein elektrisch auswertbares Signal zu wandeln. Der Aufbau der Varioscan-Thermokamera beruht auf dem Scannerprinzip. Scanner-Kameras zeichnen sich dadurch aus, daß für die Wandlung der Infrarotstrahlung ein Einelementdetektor eingesetzt und das Meßobjekt mittels eines mechanischen Ablensystems, dem s.g. „Scanner“ abgerastet wird. Die Signalwandlung jedes einzelnen Bildpunktes wird mit ein und demselben Wandlerelement vorgenommen, so daß ein extrem guter Gleichlauf aller Bildpunkte gewährleistet wird.

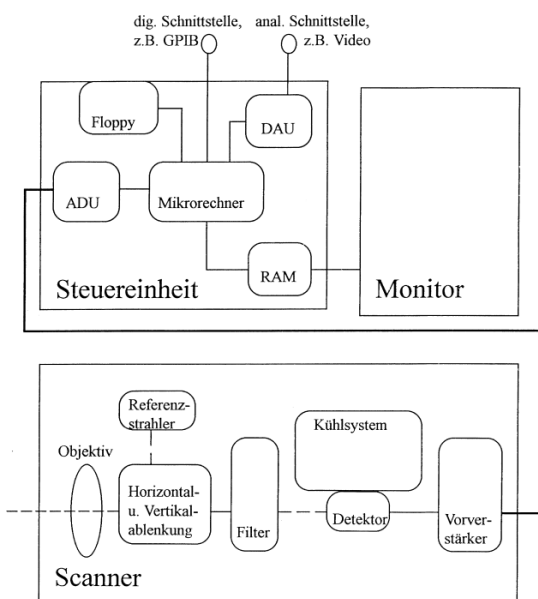


Abb. 5 Block-Prinzipschaltbild des Thermografiergerätes

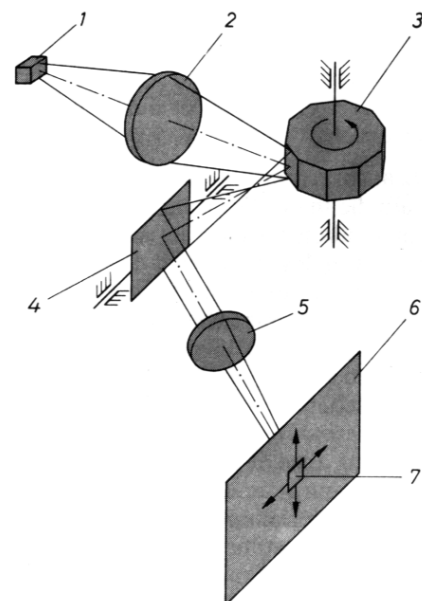


Abb. 6 Prinzipieller Strahlengang im Scannersystem

4 Vorbereitungsaufgaben

- 4.1 Machen Sie sich mit den physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Infrarotthermografie vertraut.
- 4.2 Welche Abweichungen können bei realen Meßanordnungen auftreten?
- 4.3 Machen Sie sich mit den spektralen Eigenschaften der Stoffkennzahlen (τ_λ , ϵ_λ , ρ_λ) von Luft, Metallen und Fensterglas vertraut.
- 4.4 Skizzieren Sie das Aufbauprinzip der Varioscan-Thermokamera.

5 Versuchsdurchführung und Auswertung

- 5.1 Messen Sie die Temperaturverteilung folgender Lampen/Leuchten und vergleichen Sie die Ergebnisse:
 - a) Halogenlampe 35W (Leuchte1)
 - b) Halogenlampe 35W mit Reflektor (Leuchte2)
 - c) Halogenlampe 35W mit Reflektor und Glasabdeckung
- 5.2 Beobachten Sie die Temperaturverteilung auf dem Reflektor während des Abkühlvorganges nach dem Abschalten der Leuchte 2.
- 5.3 Messen Sie die Temperaturverteilung einer Aluminiumprobe und diskutieren Sie die Ergebnisse. Was sind die Ursachen für die Abweichungen und welche Konsequenzen ergeben sich für die Praxis?
 - a) Aluminiumprobe (ohne Spiegelreflexionen)
 - b) Aluminiumprobe (mit Spiegelreflexionen - Leuchte 2)
- 5.4 Messen Sie den zeitlichen Temperaturverlauf eines IR-Strahlers (ca. 6 Messungen in 60s-Abstände). Bestimmen Sie das Maximum für jede Messung und stellen Sie die Ergebnisse grafisch dar.
- 5.5 Messen Sie die Temperaturverteilung der Hand und beobachten Sie die Unterschiede beim Abkühlen und Erhitzen der Hand.
- 5.6 Machen Sie sich mit dem Auswerteprogramm *Irbis* vertraut. Bestimmen Sie die maximale Temperatur der Proben für Aufgabe 5.1 und 5.3 und stellen Sie die Temperaturverteilung längs der Proben dar.

6 Literatur

- /1/ Wissensspeicher Infrarottechnik
Fachbuchverlag, Leipzig 1990, ISBN 3-343-00498-7
- /2/ Glückert, Udo
Erfassung und Messung von Wärmestrahlung
Franzis Verlag, München 1992, ISBN 3-7723-6292-3