

P2-43:

Wärmestrahlung

Vorbereitung

Saskia Heijmer, Arnold Seiber

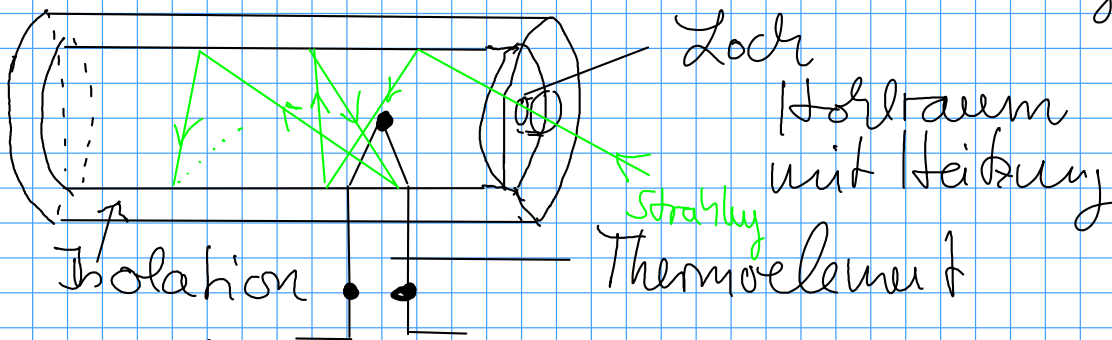
0. Grundlagen

0.1 schwarzes Körper

Ein idealer Körper, der in allen Frequenzbereichen elektromagnetische Strahlung vollständig absorbiert. Mit dem Planckschen Strahlungsgesetz folgt auch, dass die Emission des schwarzen Körpers nur von seiner Temperatur abhängt. Man kann nur näherungsweise einen schwarzen Körper realisieren, z.B. durch einen Hohlraumstrahler.

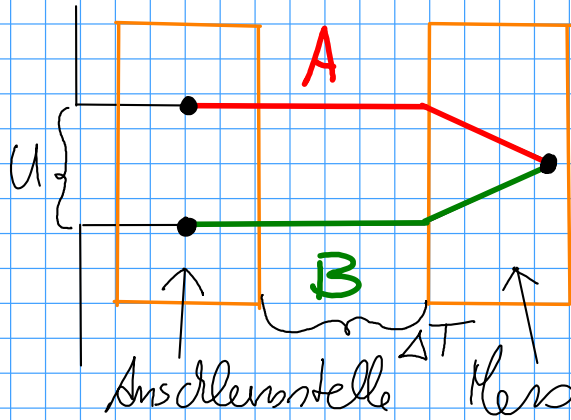
0.2 Hohlraumstrahler

Zur hermetischen Realisierung eines schwarzen Strahlers ist ein Hohlraumstrahler sehr gut geeignet.



Die Strahlung entspricht die eines schwarzen Strahlers, da die emittierte Strahlung nach häufiger Absorption und Emission im Hohlraum im thermischen Gleichgewicht mit den Wänden ist.

0.3 Thermoelement



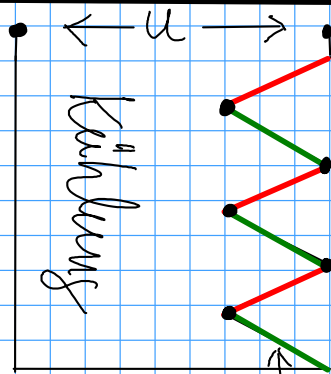
A: Metall A (Pt Rh / Ni Cr)
 B: Metall B (Pt / Ni)
 ΔT : Temperaturdifferenz
 U_{Th} : Thermospannung

Durch ΔT zwischen der Anschlussstelle und der Messstelle entsteht eine Thermospannung U_{Th} → Thermoelektrischer Effekt (Seebeck-Effekt).

Das Thermoelement wird zur Temperaturmessung verwendet

$U_{Th} \sim T$ Näherungsweise: $U_{Th} = a (T - T_0)$ (→ Bauart, Wahl der Metalle)

0.4 Thermosäule



(nach Holl)

misst die Widerstandsänderung, die durch Temp. veränderung verursacht wird.

Strahlung

(Bild: Wikipedia Thermosäule)

Thermoelemente

Eine Thermosäule besteht aus einer Serienschaltung von Thermoelementen

Vorteile: - größere Messoberfläche durch mehrere Elemente
 - höhere Spannung → genauere Messung
 - Messung der Strahlungsleistung über die Spannung U bzw. Temperaturerhöhung des Körpers

0.5 Plancksches Strahlungsgesetz

Das Gesetz beschreibt die Intensitätsverteilung der elektromagnetischen Energie bzw. Leistung eines schwarzen Strahlers mit einer bestimmten Temperatur.

Quantenmechanisch: Die Dichteverteilung aller Photonen in Abhängigkeit von der Wellenlänge, Frequenz bei konst. Temperatur eines schwarzen Strahlers.

Plancksche Strahlungsformel:

$$\phi(\lambda, T) = \frac{2\pi^5 c^2 h}{15 \lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

ϕ : spezifische Ausstrahlung des schwarzen Körpers $[\frac{W}{m^2}]$

λ : Wellenlänge $[m]$

T : Temperatur $[K]$

c : Lichtgeschwindigkeit $[\frac{m}{s}]$

k : Boltzmann-Konstante

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$$

h : Plancksches Wirkungsquantum

$$h = 6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

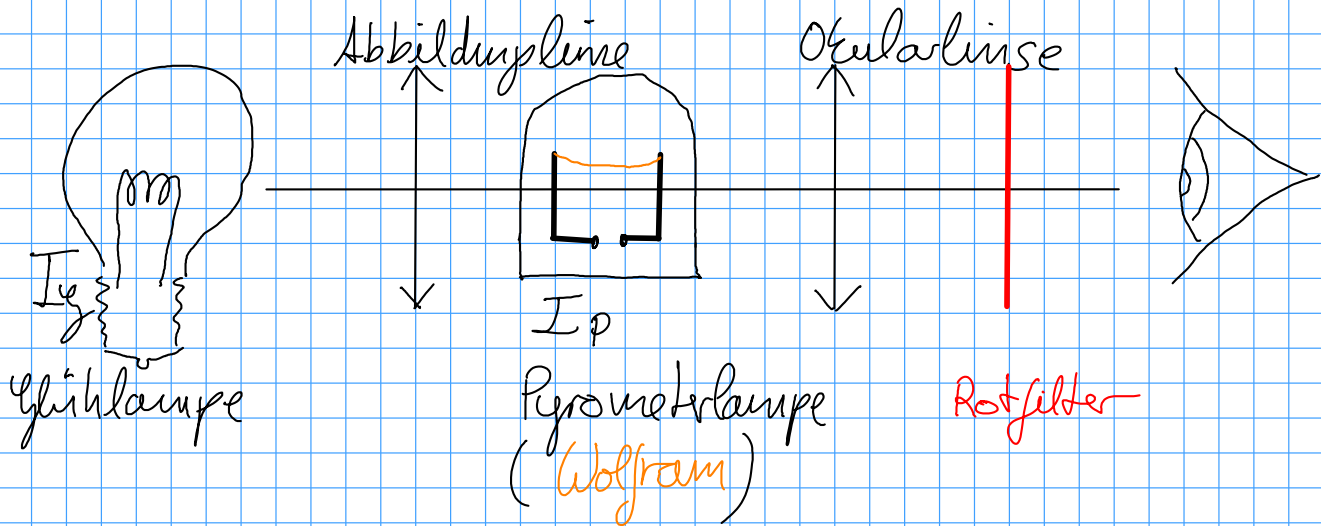
0.6 'graues Strahler' (realer Körper)

Ein grauer Körper absorbiert nicht vollständig die Strahlung, die auf ihn trifft. Die Emission des grauen Strahlers hängt also noch von einer Konstante ϵ ab, die angibt, wie grau der Körper ist außer der Temperatur.

$\epsilon = 1$ entspricht dem schwarzen Körper

$\epsilon = 0$ entspricht einem weißen Körper (absorbiert nicht)

0.7 Pyrometer (Vergleichspyrometer, Glühlampenpyrometer)



Das Pyrometer funktioniert wie ein Fernrohr. Das Bild der Glühlampe wird auf der Ebene des Pyrometerglühladens abgebildet. Man kann I der Pyrometrlampe regeln.

Bei einem schwarzen Strahler (zur Eichung) richtet man es auf diesen und stellt die Pyrometrlampe auf die selbe Intensität wie dem Strahler ein, mit Hilfe des Rotfilters in einem bestimmten Frequenzbereich. Da die Glühlampe ein grauer Strahler ist hängt die Emission dieser von T und ϵ ab.

Auch die Pyrometrlampe ist ein grauer Strahler hierfür die Eichkurve $T_s(I)$ und die Korrektur (Glühlampe) $(T_w - T_s)$ (siehe Aufgabenblatt).

T_s : schwarze Temperatur bei einem Strom I der Glühlampe (wenn sie ein schwarzer Strahler wäre)

$(T_w - T_s)$: Korrektur der Wolframlampe bezgl. schwarzer Strahler

Im Prinzip misst man also die Strahlung des Körpers, das Pyrometer zeigt dann die Temperatur an, die der Körper hat, wenn es ein schwarzer Strahler wäre.

1. Stefan Boltzmanns Gesetz

Das Gesetz gibt die Abhängigkeit der Abstrahlungsleistung eines schwarzen Körpers von seiner Temperatur an. Zur Herleitung integriert man $\phi(\lambda, T)$ über alle Wellenlängen. (siehe 0.5)

$$\int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \phi(\lambda, T) d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1} d\lambda$$

Substitution: $x = \frac{hc}{\lambda T}$ $\lambda = \frac{hc}{xT}$ $\lambda^5 = \frac{h^5 c^5}{k^5 x^5 T^5}$

$dn = -\frac{hc}{kT} x^2 dx$ $n=0 \rightarrow x=\infty, n=\infty \rightarrow x=0$

$$\int_0^{\infty} \frac{2\pi k^4 x^3 T^4}{c^2 h^3} \frac{1}{e^x - 1} dx = \frac{2\pi k^4 T^4}{c^2 h^3} \int_0^{\infty} \frac{x^3}{e^x - 1} dx$$
$$= \frac{2\pi k^4 T^4}{c^2 h^3} \cdot \frac{\pi^4}{15} = \frac{2\pi^5 k^4}{c^2 h^3 15} T^4$$

$$\int_0^{\infty} \phi(\lambda, T) d\lambda = \sigma \cdot T^4 \quad \left[\frac{W}{m^2} \right] \text{ spezifische Strahlungsleistung}$$

$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{c^2 h^3 15}$ Stefan Boltzmann konst.

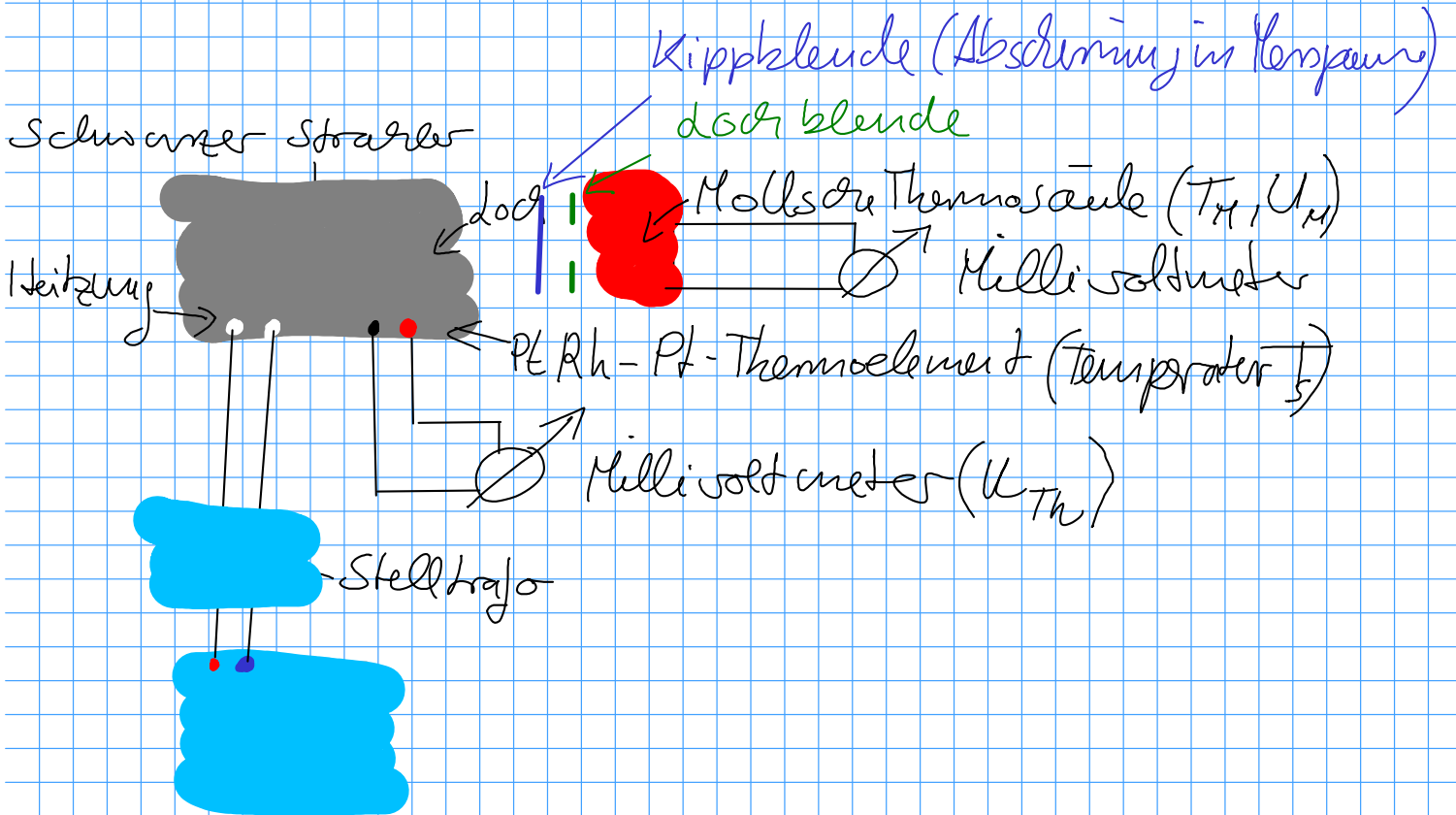
$\sigma = (5,670400 \pm 0,000040) \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$

P: Strahlungsleistung eines schw. Körpers

A: Fläche $[m^2]$ (Querschnittsfläche des Lochs vom Strahler)

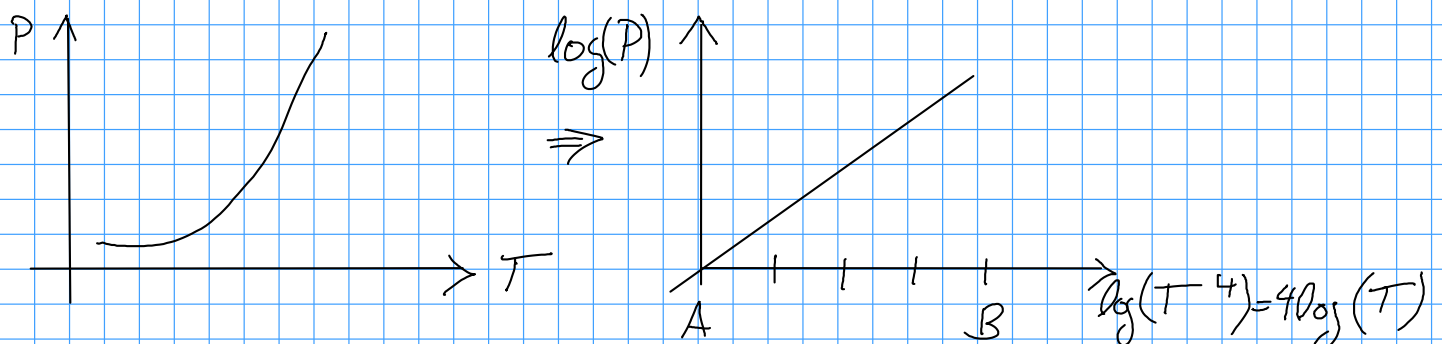
$$P = A \sigma T^4 \quad [W] \text{ (Schwarzer Strahler)}$$

Versuchsaufbau:



geeignete Temperaturabschnitte für die Messung:

- Messung von U_H des Strahlers und Bestimmung von P um die T_S Abhängigkeit zu zeigen.
- Auftragen von P über T_S mit geeigneten Schritten um T_S^4 ablesen zu können
- P wird mit Hilfe der Thermosäule bestimmt (U_H)
- T_S mit dem integrierten Thermoelement gemessen (U_{T_H})
mit $T_S \sim U_{T_H}$ und $U_H \sim T_H \sim P$



Der Zusammenhang von P über T^4 soll linear sein.
 Man wählt also eine lineare Skala von A bis B ,
 die wieder umgerechnet wird in T -Schritte für die Messung.

$P(T) = T^4$ soll $f(x) = mx$ entsprechen

$$\log(P) = \log(T^4) = 4 \log(T)$$

$$A = \log(T^4) \Leftrightarrow 10^A = 10^{\log(T^4)} = T^4$$

$$\Rightarrow T_s = \sqrt[4]{10^A}$$

für $T_s \in [1000\text{K}, 2600\text{K}]$

T_s [K]	U_M [V]
-----------	-----------

1000	
------	--

1173	
------	--

1375	
------	--

1612	
------	--

1891	
------	--

2217	
------	--

2600	
------	--

für Taschenrechner

T_A = Anfangstemperatur, T_E = Endtemp.

$$A := 4 \log(T_A)$$

$$C := 4 \log(T_E) - 4 \log(T_A)$$

$$A := \frac{C}{n} + A$$

$$T = \sqrt[4]{10^A}$$

2. Ermittelte Strahlungsintensitäten verschiedener Flächen

Die Messung von emittierten Strahlungsintensitäten verschiedener Flächen in Abhängigkeit von der Temperatur soll besonders über die Emissionsvermögen gehen.

Versuchsaufbau: wie bei 1 nur Hohlraumstrahler durch leitende Scheibe ersetzt.

- U_M gemessen mit der Thermosäule \Rightarrow Strahlungsintensität P
- U_w Temperatur mit Thermo element der Scheibe ($\Rightarrow T_w$) (NiCr - Ni) gemessen

$$P = A \sigma \epsilon T_w^4 \quad (\text{siehe 1.}) \quad \text{mit } U_H \sim P \text{ und } U_w \sim T_w$$

T_w [K] wie in 1 aufteilen

T_w [K]	U_{w_1} [V]	U_{w_2} [V]	...

Man vergleicht nun U_{w_1} mit U_{w_2} usw. bei einem T_w um eine Aussage über die Konstante ϵ , das Emissionsvermögen zu machen.

3. Wahre Temperatur einer Glühlampe (siehe 0.7 Pyrometer)

- Bestimmung von T_w einer Glühlampe in Abhängigkeit von I_g der Glühlampe mit einem Vergleichspyrometer.
- Bestimmung von T_s in Abhängigkeit von I_g über I_p .
- Man stellt die Pyrometerlampe auf die gleiche Intensität wie die Glühlampe, misst I_p bei festem I_g .
- Ablesen von T_s zu I_p in Kurve $T_s \uparrow \rightarrow I_p$
- Ablesen des Korrekturs zu T_s in Kurve $\begin{matrix} \uparrow (T_w - T_s) \\ \rightarrow T_s \end{matrix}$

$$\rightarrow T_w = T_s + (T_w - T_s)$$

I_g [A]	I_p [A]	T_s [K]	$T_w - T_s$ [K]