Versuch 207 - Das Stefan-Boltzmann Gesetz

TU Dortmund, Fakultät Physik
Anfänger-Praktikum

Jan Adam
jan.adam@tu-dortmund.de

Dimitrios Skodras
dimitrios.skodras@tu-dortmund.de

21.Dezember 2012

Inhaltsverzeichnis

1 Theorie

Jedes System im Universum mit einer Temperatur $T > 0$K strahlt Wärmestrahlung aus, da einige seiner Elektronen sich in angeregtem Zustand befinden und von dort in den Grundzustand zurückkehren. Ein Körper, der ein breites Spektrum von Wellenlängen absorbiert, kann auch gut emittieren. Laut dem Kirchhoffschen Strahlungsgesetz sind Absorption und Emission äquivalent und über das Reflexionsvermögen verknüpft.

$$\epsilon(\lambda, T) = A(\lambda, T) = 1 - R(\lambda, T) \tag{1}$$

Schwarze Körper (mit $\epsilon = 1$) weisen eine Strahlungsleistung auf, die lediglich von der Wellenlänge λ der Strahlung sowie seiner absoluten Temperatur T abhängt. Ein Hohlraum mit einer kleinen Öffnung kommt dem Bild des idealen schwarzen Körpers am nächsten, da die eintretende Strahlung darin mehrfach reflektiert und schließlich endgültig absorbiert wird (Hohlraumstrahlung). Die emittierte Strahlung wird gemäß dem Planckschen Strahlungsgesetz ausgedrückt durch

$$P(\lambda, T) = \frac{\mathrm{d}P}{\mathrm{d}\lambda} = \frac{2\pi c^2 h}{\Omega_0 \lambda^5} \left[\exp\left(\frac{c\,h}{k_b \lambda T} \right) - 1 \right]^{-1}. \tag{2}$$

(c = Lichtgeschwindigkeit, h = Plancksches Wirkungsquantum, k_b = Boltzmann-Konstante)

Ω_0 ist hierbei der Raumwinkel der abgestrahlten Wärme. Das Wiensche Verschiebungsgesetz besagt eine Verschiebung des Strahlungs leistungsmaximum zu kleineren Wellenlängen bei höheren Temperaturen, wie in Abbildung 1 dargestellt.

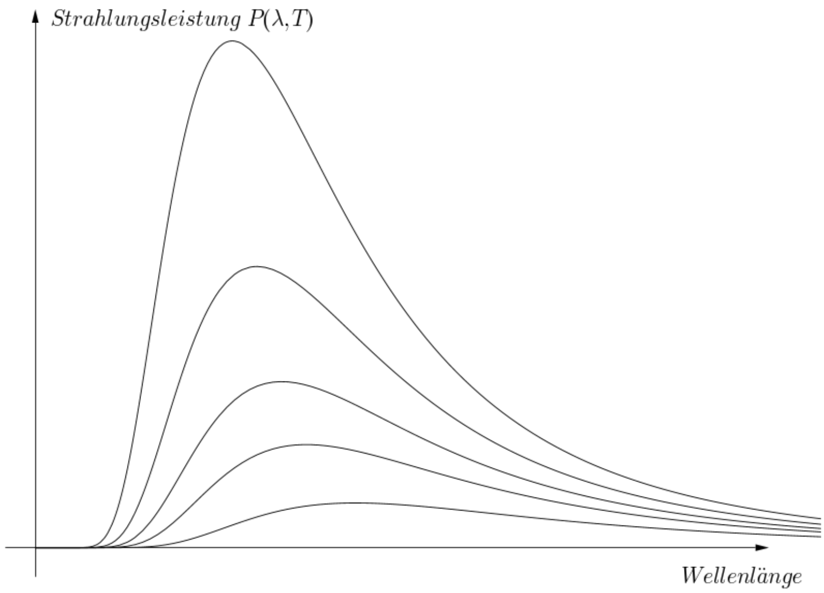


Abbildung 1: Planckches Strahlungsspektrum zu verschiedenen Temperaturen

Das in diesem Versuch zu untersuchende Stefan-Boltzmann-Gesetz beschreibt die Strahlungsdichte P(T) eines schwarzen Körpers und wird dargestellt durch

$$P(T) = \epsilon\,\sigma\,T^4 \tag{3}$$

(σ = Stefan-Boltzmann-Konstante)

2 Durchführung

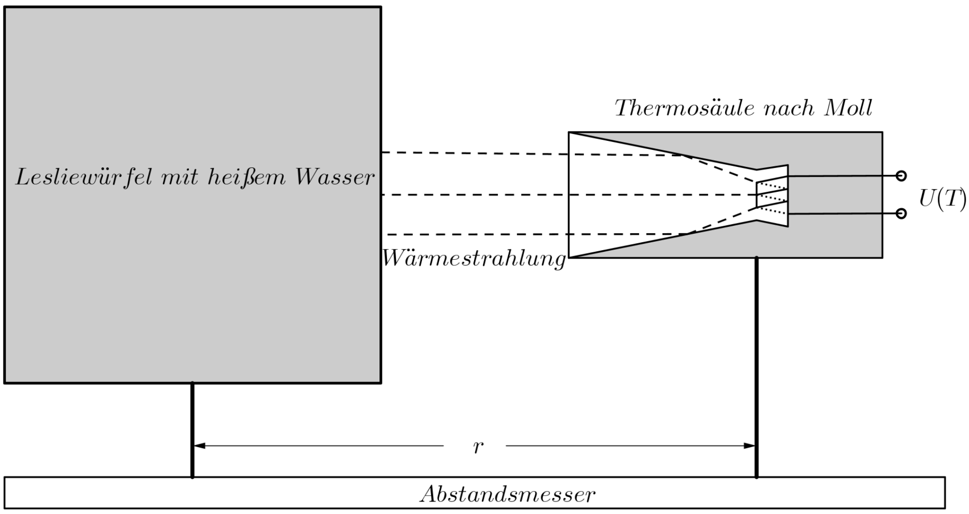


Abbildung 2: Schematischer Versuchsaufbau

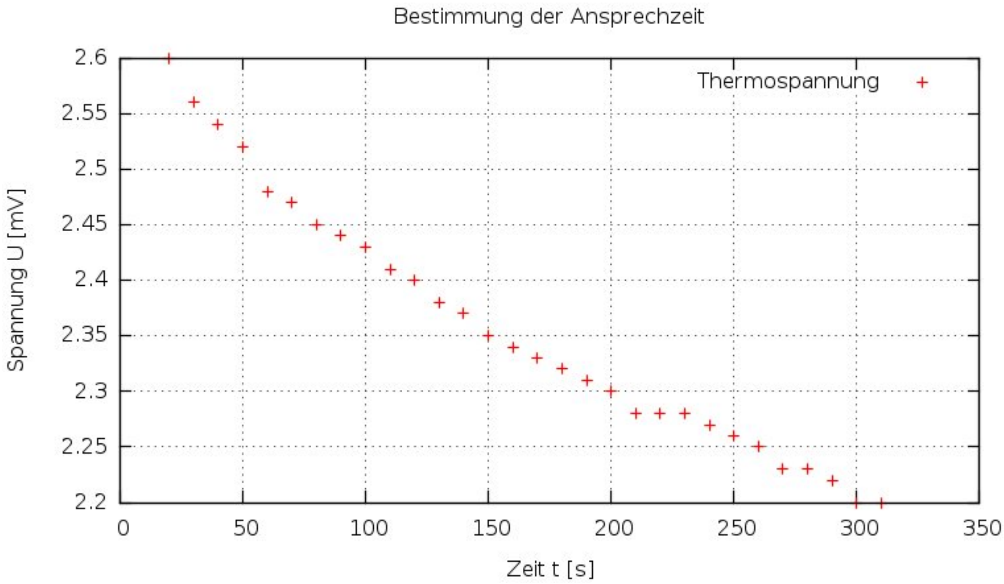
3 Auswertung

3.1 Bestimmung der Ansprechzeit

Zunächst soll die Ansprechzeit der Thermosäule bestimmt werden. Das ist die Zeit, die die Thermosäule benötigt, um die einfallende Wärme vollständig zu erfassen. Die Ansprechzeit ist daher für den weiteren Verlauf des Versuchs wichtig, denn man muss, nachdem man die Thermosäule auf eine andere Fläche des Würfels richtet, mindestens die Ansprechzeit abwarten, bevor Werte abgelesen werden dürfen.

Nachdem siedendes Wasser in den Würfel gefüllt wurde, wird die Thermospannung alle 10s abgelesen.

Gesucht wird nach einem Maximum des Graphens, da dies der Zeitpunkt ist, zu dem die Thermosäule die Wärme komplett anzeigt. Dieses lokale Maximum gibt es jedoch nicht, da die Spannung bereits innerhalb der ersten 5s ihren Endwert erreicht hat. Folglich ist bei den folgenden Messungen darauf zu achten, mindestens 5 Sekunden zu warten,



H

Abbildung 3: Von der Thermosäule erzeugte Thermospannung gegen die Zeit aufgetragen

bevor ein Wert abgelesen wird.

$$\text{Ansprechzeit} \approx 5[s] \tag{4}$$

3.2 Bestimmung des Emissionsvermögens ϵ

Um das Emissionsvermögen zu bestimmen wird der Würfel erneut mit siedendem Wassergefüllt und in jeweils 5° Schritten die Thermospannung für alle 4 Würfelseiten notiert.

Temperatur	Schimmernd [mV]	Schwarz [mV]	Matt [mV]	Weiß [mV]
$82°C$	-0.058	1.842	0.192	1.802
$77°C$	-0.078	1.622	0.132	1.592
$72°C$	0.612	1.432	0.082	1.382
$67°C$	-0.128	1.232	0.032	1.202
$62°C$	-0.137	1.042	0.002	1.022
$57°C$	-0.151	0.852	-0.030	0.822
$52°C$	-0.155	0.672	-0.058	0.662
$47°C$	-0.133	0.530	-0.068	0.508

Trägt man die gemessenen Spannungen gegen $T^4 - T_0^4$ auf und zeichnet eine Ausgleichsgerade ein, so hat diese nach Gleichung (**??**) die Steigung $\epsilon\sigma$.

Nach einer Umrechnung der Daten der vier Oberflächen auf Volt errechnet man die Steigungen der Ausgleichsgeraden und dividiert diesen Wert nochmals durch $\sigma =$

$5,67 \cdot 10^{-8}$ um das Emissionsvermögen σ zu erhalten.

$$\epsilon_{schillernd:} = 0,38 \cdot 10^{-6} \qquad \pm 0,035 \cdot 10^{-6}$$
$$\epsilon_{weiss:} = 4,24 \cdot 10^{-6} \qquad \pm 0,028 \cdot 10^{-6}$$
$$\epsilon_{schwarz:} = 4,31 \cdot 10^{-6} \qquad \pm 0,031 \cdot 10^{-6}$$
$$\epsilon_{matt:} = 0,86 \cdot 10^{-6} \qquad \pm 0,054 \cdot 10^{-6}$$

3.3 Strahlintensität als Funktion des Abstandes

Zum Schluss wird die Thermospannung für verschiedene Abstände von der schwarzen Würfelseite gemessen.

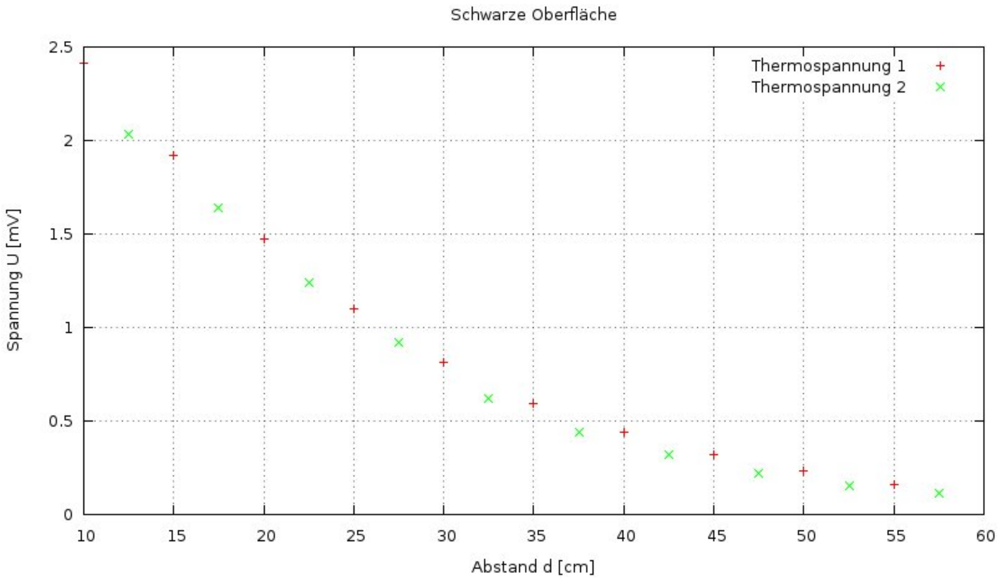


Abbildung 4: Thermospannung gegen den Abstand zum Würfel aufgetragen

Zur Erhöhung der Genauigkeit wurde im Abstand von etwa zwei Minuten eine zweite Messreihe aufgenommen. Da der Würfel in der Zwischenzeit etwas ausgekühlt ist, werden die Messreihen farbig unterschieden.

4 Diskussion