



## Versuchsanleitung

# Temperaturstrahlung

Nummer: 21  
Kompiliert am: 29. März 2023  
Letzte Änderung: 29.03.2023  
Beschreibung: Verifizierung von Strahlungsgesetzen.  
Webseite: <https://www.uni-ulm.de/nawi/institut-fuer-quantenoptik/ag-prof-jelezko/lehre/grundpraktikum-physik-physwiphys-la-phys/>

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>2</b>
<b>2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung</b>	<b>2</b>
2.1 Theorie . . . . .	2
2.2 Beispiele aus Natur und Alltag . . . . .	3
<b>3 Versuchsdurchführung</b>	<b>3</b>
3.1 Leslie-Würfel . . . . .	3
3.2 Bestimmung der $r^2$ -Abhängigkeit der Wärmestrahlung . . . . .	3
3.3 Bestimmung der Stefan-Boltzmann-Konstanten . . . . .	3
3.4 Pyrometrie . . . . .	3
3.5 Häufige Fehler . . . . .	4
<b>4 Versuchszubehör</b>	<b>4</b>
<b>5 Hinweise zur Ausarbeitung</b>	<b>4</b>
5.1 Versuchsspezifisch . . . . .	4
5.2 Allgemein . . . . .	5
<b>Literatur</b>	<b>6</b>

# 1 Einführung

Neben Konvektion und Wärmeleitung stellt die Wärmestrahlung eine wichtige Form des Transports thermischer Energie dar. Hierbei emittiert die Oberfläche eines warmen Körpers ein breites Spektrum elektromagnetischer Strahlung: Bei einer Temperatur von 300 K liegt der Hauptanteil dieser Strahlung im unsichtbaren infraroten Spektralbereich (Wellenlängen  $\lambda = 1 \mu\text{m} - 50 \mu\text{m}$ ), bei 1000 K liegt ein merklicher Anteil davon auch in dem für uns sichtbaren Wellenlängenbereich von  $\lambda = 400 \text{ nm} - 700 \text{ nm}$ . Der Körper beginnt dann zu glühen. Max Planck (1858-1947) gelang es als Erstem, die spektrale Intensitätsverteilung dieser Wärmestrahlung zu berechnen, wobei er das Planck'sche Wirkungsquantum einführte. Im Gegensatz zu Wärmeleitung und Konvektion ist die Wärmeübertragung durch Strahlung nicht an ein Medium gebunden, sie findet also auch über Vakuum hinweg statt. Die genaue Form der spektralen Intensitätsverteilung hängt von der Oberflächenbeschaffenheit des strahlenden Körpers ab. Ein Spezialfall ist der schwarze Körper. Er besitzt den größtmöglichen Emissionsgrad und absorbiert gleichzeitig die gesamte auftreffende Strahlung. Ein schwarzer Körper (im Gleichgewicht) lässt sich experimentell sehr gut durch einen Hohlraum mit gut emittierender bzw. adsorbierender Oberfläche und einer kleinen Öffnung realisieren, durch die ein kleiner Teil der Strahlung austreten kann.

Der Versuch besteht aus drei Teilen. Im ersten Teil beschäftigen Sie sich mit dem sogenannten Leslie-Würfel. Im folgenden Teil wird mit Hilfe eines geheizten Rohrofens das Planck'sche Strahlungsgesetz verifiziert. Im abschließenden Teil beschäftigen Sie sich mit der Pyrometrie.

## 2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung

### 2.1 Theorie

- Was ist Wärme? Was ist Temperatur?
- Wärmetransport: Wärmeleitung, Konvektion, Strahlung
- Emissions- und Absorptionsvermögen [Dem16]
- Schwarze und graue Strahler, Farbtemperatur [Dem16]
- Strahlungstemperatur [Wal06]
- Spektrale Modendichte [Dem13]
- Planck'sches Strahlungsgesetz [Dem16]
- Wien'sches Strahlungsgesetz und Wien'sches Verschiebungsgesetz [Dem16]
- Rayleigh-Jean'sches Strahlungsgesetz [Dem16]
- Stefan-Boltzmann'sches Strahlungsgesetz [Dem16]
- Möglichkeiten der Temperaturmessung, Pyrometrie [Wal06]
- Was sind Bolometer?
- Weitere Literatur: [BS04, HW04]

## 2.2 Beispiele aus Natur und Alltag

- Berührungslose Temperaturmessung, "Temperatur-Kamera"
- Farbtemperatur
- Strahlungsschilder

## 3 Versuchsdurchführung

*Hinweis:* Zu Beginn des Versuches ist der Rohrofen mit 0,6 A zu beheizen. Im Laufe einer Stunde steigt die Temperatur auf ca. 350 °C - Temperaturkonstanz abwarten.

### 3.1 Leslie-Würfel

Wärmestrahlung verschiedener Oberflächen. Füllen Sie den Leslie-Würfel mit heißem Wasser und bringen Sie nacheinander seine vier Flächen im Abstand von ca. 0.5 m vor die Thermosäule (drei Mal).

### 3.2 Bestimmung der $r^2$ -Abhängigkeit der Wärmestrahlung

Bestimmen Sie die Strahlungsdichte eines schwarzen Körpers bei konstanter Temperatur in Abhängigkeit von der Entfernung zum Beobachter! Bringen Sie dazu die Thermosäule in ca.  $r = 25$  cm Abstand von der strahlenden Öffnung  $A_S$ , vergrößern Sie den Abstand in 5 cm-Schritten bis etwa 50 cm und messen Sie dabei die thermoelektrische Spannung  $U$  (zwei Mal).

### 3.3 Bestimmung der Stefan-Boltzmann-Konstanten

Zusammenhang zwischen abgestrahlter Leistung und Temperatur eines schwarzen Strahlers (erstes Beispiel für Stefan-Boltzmann'sches Strahlungsgesetz). Messen Sie bei konstantem Abstand zwischen Thermosäule und Strahler die von diesem abgegebene Leistung als Funktion seiner Temperatur.

*Hinweis:* Bringen Sie die Thermosäule in ca.  $r = 50$  cm Abstand von der strahlenden Öffnung  $A_S$ ! Schalten Sie die Ofenheizung aus und messen Sie die Strahlungsleistung bzw. die thermoelektrische Spannung  $U$  alle 10 K über einen Bereich von 200 K hinweg.

### 3.4 Pyrometrie

Zusammenhang zwischen Leistungsaufnahme einer Glühbirne und Temperatur des Fadens (zweites Beispiel für Stefan-Boltzmann'sches Strahlungsgesetz).

*Hinweis:* Die Lampe ist in ihrem Abstand so zu justieren, dass, durch das Fernrohr gesehen, die Wendel scharf abgebildet wird. Betriebsanleitung des Pyrometers bitte genau durchlesen. Machen Sie sich mit dessen Handhabung vertraut!

### 3.5 Häufige Fehler

- Die Bolometrie ist extrem empfindlich. Überprüfen Sie daher ihre Messungen auf Fehler, z.B. durch die Reflexion ihrer Körperwärme(strahlung) an der weißen Wand!

## 4 Versuchszubehör

- Versuchsteil 1:
  - 1 Optische Bank
  - 1 Leslie-Würfel
  - 1 Thermosäule
  - 1 Messverstärker
  - 1 Vielfachmessinstrument
- Versuchsteil 2 und 3:
  - 1 Optische Bank
  - 1 Rohrofen mit wassergekühlter Blende
  - 1 Thermosäule
  - 1 Stelltrafo
  - 1 Vielfachmessinstrument
- Versuchsteil 4
  - 1 Optische Bank
  - 1 12-Volt-Lampe
  - 1 Netzgerät
  - 1 Pyrometer 'Optix'

## 5 Hinweise zur Ausarbeitung

### 5.1 Versuchsspezifisch

- Zu 3.1: Bestimmung des relativen Emissionsvermögens. Bestimmen Sie das Verhältnis der Strahlungsleistungen der vier Flächen, wobei der Maximalausschlag des Vielfachmessinstruments mithilfe der am stärksten strahlenden Fläche einzuregulieren ist.
- Zu 3.2: Tragen Sie in einem Diagramm  $\ln(U)$  über  $\ln(r)$  auf (mit Fehlerbalken!) und bestimmen Sie die Steigung der resultierenden Geraden mit zeichnerischer und rechnerischer Regression! Ermitteln Sie das Gesetz, nach dem die Strahlungsdichte eines schwarzen Körpers (Rohrofen) mit dem Abstand zusammenhängt.
- Zu 3.3: Tragen Sie in einem Diagramm  $U$  über  $T^4$  auf (mit Fehlerbalken)! Ermitteln Sie weiter die zugrunde liegende Gesetzmäßigkeit und den Absolutwert der Stefan-

Boltzmann'schen Strahlungskonstanten  $\sigma$  aus der Steigung der Regressionsgeraden im  $T^4$  über  $U$ -Diagramm mit Fehlerrechnung und vergleichen Sie das Ergebnis mit dem Literaturwert! Zur Auswertung benutzen Sie bitte folgende Formel:

$$U = \frac{\sigma \cdot 0,16 \frac{\text{mV}}{\text{mW}} \cdot 1000 \cdot A_B \cdot A_S (T^4 - T_0^4)}{\pi r^2} \quad (1)$$

- Zu 3.4: Ermitteln Sie für verschiedene elektrische Leistungen die Temperaturen eines Glühfadens und stellen Sie den Zusammenhang zwischen Leistung ( $P = U \cdot I$ ) und Temperatur ( $T$ ) dar. Tragen Sie in einem Diagramm  $\ln(P)$  über  $\ln(T)$  auf.
- Zu allen Versuchen:
  - Versuchsbeschreibung (Skizze + in Worten)!
  - Qualitative Beschreibung des Ergebnisses (d.h. was wurde beobachtet und gemessen)
  - Auswerteformel aus Theorieteil ableiten
  - Messwerte mit Fehlerangaben in tabellarischer Form
  - Ergebnis aus Mittelwert berechnen -> Standardabweichung / Größtfehler
  - Diskussion: Abweichung vom Literaturwert, Streuung der Einzelmessungen, systematische Fehlerquellen, etc. -> Bewertung der Messung (Gutes bzw. realistisches Ergebnis? Größte Fehlereinflüsse? Vermeidbare Fehler?)

## 5.2 Allgemein

- Kopie des Laborbuchs anhängen
- Fehlerbalken in den Schaubildern
- Fehler des Mittelwerts richtig berechnen und Ergebnisse richtig runden (siehe Anleitung Limmer und/oder Folien zu unserem Statistik-Workshop)
- Gute Skizzen und Abbildungen verwendet (z.B. deutsche Beschriftung, Skizzen entsprechen den Erläuterungen, ...); Skizzen dürfen gerne selbst angefertigt werden
- Vergleich mit Literaturwerten
- Diskussion und/oder Wertung der Ergebnisse

## Literatur

- [BS04] BERGMANN, Ludwig ; SCHAEFER, Clemens: *Lehrbuch der Experimentalphysik. Bd. 3: Optik: Wellen- und Teilchenoptik*. 10. Auflage. Berlin, New York : Walter de Gruyter Verlag, 2004
- [Dem13] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik*. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2013
- [Dem16] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper*. 6. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2016
- [HW04] HAKEN, Hermann ; WOLF, Hans C.: *Atom- und Quantenphysik: Einführung in die experimentellen und theoretischen Grundlagen*. 8. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2004
- [Wal06] WALCHER, Wilhelm: *Praktikum der Physik*. 9. Auflage. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2006