

Versuch W7 für Physiker Wärmeausdehnung

I. Physikalisches Institut
Stand: 9. Oktober 2023



generelle Bemerkungen

- bitte Versuchspartner angeben
- bitte Versuchsassistenz angeben
- bitte nur handschriftliche Auswertung

1 Einleitung

Dieser Versuch befasst sich mit dem Phänomen der Wärmeausdehnung von Festkörpern. Wie Sie aus dem Alltag wissen, dehnen sich Stoffe unter Wärme aus und ziehen sich bei Kälte zusammen. Daher werden beispielsweise elektrische Oberleitungen nicht straff gespannt, sondern durchhängend verlegt, damit sie im Winter nicht reißen. Bei dem Bau von Häusern wird durch den Einsatz von Dehnungsfugen verhindert, dass das Gebäude bei Temperaturänderungen beschädigt wird. Die physikalische Größe, mit der die thermische Ausdehnung beschrieben wird, heißt Ausdehnungskoeffizient. Je größer der Ausdehnungskoeffizient eines Stoffes ist, desto stärker dehnt er sich mit Erhöhung der Temperatur aus. Diese Eigenschaft wird z. B. häufig in Thermometern ausgenutzt. Im Allgemeinen ist auch der Ausdehnungskoeffizient selbst abhängig von der Temperatur und kann nur in kleinen Temperaturbereichen als konstant angesehen werden.

2 Vorbereitung (zu Hause)

Die folgenden Stichpunkte und theoretischen Überlegungen sollen in Ihrem Heft schriftlich bearbeitet werden. Außerdem sollten Sie in der Lage sein, sie am Versuchstag im Antestat selbstständig wiederzugeben. Literaturhinweise gibt es in Abschnitt 8.

1. Machen Sie sich mit folgenden Begriffen und Zusammenhängen vertraut:
 - Aufbau eines Festkörpers
 - Potential des harmonischen Oszillators
 - Wechselwirkungspotential von Gitterbausteinen
 - Thermische Ausdehnung: linear, kubisch
 - Erklärung thermischer Ausdehnung mit Hilfe des Wechselwirkungspotentials (im Gegensatz zum Potential eines harmonischen Oszillators)
 - Verschiedene Methoden der Temperaturmessung
 - Ausdehnungskoeffizienten verschiedener Stoffe
2. Fertigen Sie eine Skizze des Versuchsaufbaus an und beschreiben Sie die Durchführung der Messungen.

3 Versuchsaufbau und -beschreibung

Wir betrachten einen Stab, der schrittweise erwärmt wird. Die Längenänderung des Stabes, verursacht durch die Temperaturänderung, hängt von dem linearen Ausdehnungskoeffizienten des Stabes im betrachteten Temperaturbereich ab. Aufgabe ist es, diesen Ausdehnungskoeffizienten für zwei Stäbe aus unterschiedlichen Materialien zu messen.

Dazu benutzen wir folgende Anordnung (siehe Abb. 1): Der jeweilige Probenstab ist hohl und auf einer Seite fest in einen Träger eingespannt, während sich auf der anderen Seite des Stabes ein Gleitlager befindet. Der Stab wird von einer temperierten Flüssigkeit (Wasser) durchflossen. Dadurch erwärmt sich der Stab, dehnt sich aus und drückt gegen eine Mikrometer-Messuhr, auf der die Längenänderung abgelesen werden kann (siehe Abb. 2). Die Flüssigkeit, die durch den Stab geleitet wird, entnimmt die dazu verwendete Umwälzpumpe einem Reservoir. Die Temperatur der im Reservoir befindlichen Flüssigkeit kann durch einen Thermostatregler eingestellt werden (siehe Abb. 3). Die Erwärmung der Flüssigkeit erfolgt über eine elektrische Heizung; Abkühlung erfolgt mit Hilfe einer Wärmetauschspirale, die dazu mit kaltem Kühlwasser versorgt werden muss. Die Temperatur des Wasserbades wird mit einem Thermometer gemessen, das durch ein Loch im Deckel des Reservoirs gesteckt ist.

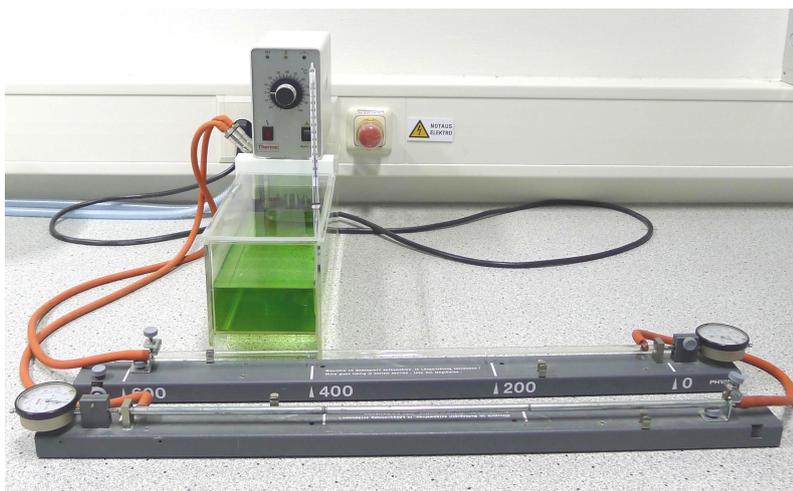


Abbildung 1: Foto des Versuchsaufbaus.

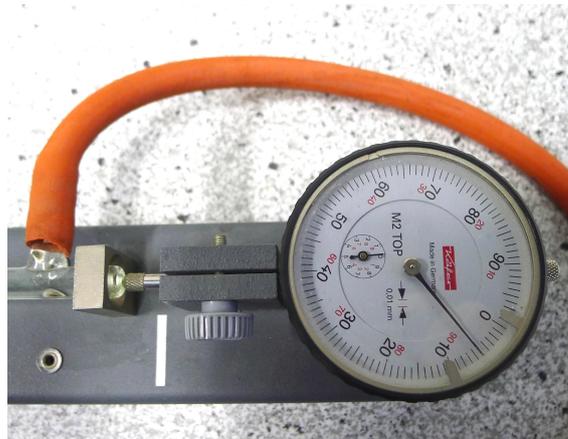


Abbildung 2: Mikrometer-Messuhr zur Bestimmung der Längenänderung des Stabes. Die kleinste Differenz zwischen zwei Skalierungsmarken beträgt $10\ \mu\text{m}$. Der obere Ring der Messuhr kann vorsichtig gedreht werden, um den Zeiger zu Beginn der Messung auf Null zu stellen.

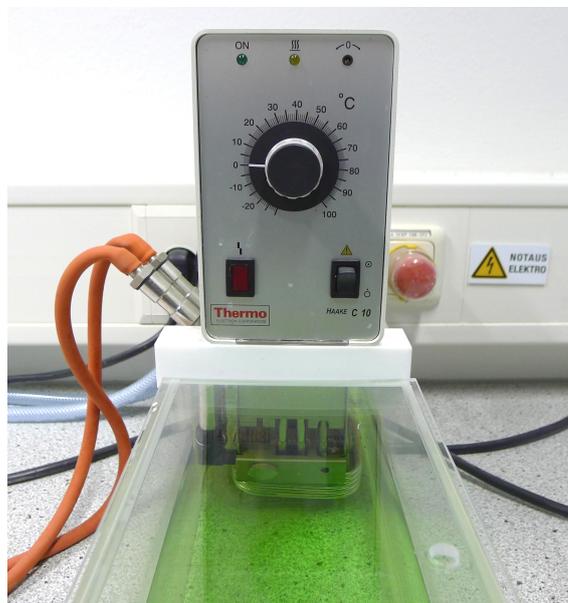


Abbildung 3: Foto des Thermostatreglers mit integrierter Umwälzpumpe (Schalter rechts) und elektrischer Heizung (rote Anzeige).

4 Benötigte Formeln

In einem beschränkten Temperaturbereich ist die Länge $L(T)$ eines Festkörpers in guter Näherung proportional zur Temperaturänderung ΔT :

$$L(T) = L_0(1 + \alpha\Delta T), \quad (1)$$

wobei L_0 die Ausgangslänge des Stabes angibt. Der lineare Ausdehnungskoeffizient α ist somit gegeben durch

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \frac{L(T) - L_0}{\Delta T} = \frac{1}{L_0} \frac{\Delta L}{\Delta T} \quad (2)$$

5 Durchführung (im Praktikum)

Die Längenausdehnung zweier unterschiedlicher Stäbe soll im Temperaturbereich zwischen $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ in $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ -Schritten vermessen werden. Je nach Aufbau handelt es sich um jeweils zwei der drei Materialien Eisen, Messing und Glas. Beide Stäbe sind jeweils so in den Aufbau integriert, dass das heiße Wasser nacheinander durch beide Stäbe gepumpt wird. Auf diese Weise kann die Längenänderung beider Materialien gleichzeitig gemessen werden.

Stellen Sie das Thermostat zu Beginn der Messung auf $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Temperatur des Wasserbades wird am dort eingetauchten Thermometer abgelesen. Wenn sich bei $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ die Länge der Stäbe stabilisiert hat, stellen Sie die Mikrometermessuhren jeweils durch vorsichtiges Drehen des äußeren Rings auf Null. Dies sind die Startwerte Ihrer Messreihe. Erhöhen Sie nun die Temperatur schrittweise um $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ und protokollieren Sie jeweils die Längenänderungen der beiden Stäbe. Achten Sie darauf bei jeder Temperaturänderung so lange zu warten, bis sich zum einen die Temperatur und zum anderen die Stablängen stabilisiert haben.

Schätzen Sie die Fehler für Ihre Temperatur- und Längenmessung ab und tragen Sie diese zusammen mit der anfänglichen Stablänge L_0 in Ihr Messprotokoll ein. Die meisten Stablängen sind gleich, wobei $L_0 = (600 \pm 1)$ mm entspricht, mit Ausnahme des Glasstabs, welcher mit $L_{0,\text{Glas}} = (570 \pm 1)$ mm ein wenig kürzer ist.

Allgemeine Hinweise:

Um Verbrennungen zu vermeiden, achten Sie bitte darauf, eine maximale Temperatur des Wasserbades von $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ nicht zu überschreiten.

Der integrierte Wärmetauscher des Umwälz-Thermostats dient dazu, das Wasserbad für eine weitere Messung abzukühlen. Dazu muss der Temperaturregler am Thermostaten heruntergeregelt und die Leitungswasserzufuhr geöffnet werden. Die Abkühlung dauert etwa 10 – 15 Minuten. Da Sie die Messreihen für beide Stäbe gleichzeitig ausführen können, ist diese Prozedur im Allgemeinen nicht erforderlich.

Es sollte sich so viel Wasser im Reservoir befinden, dass die Pumpe ruhig läuft und keine Luft zieht. Sollte zu wenig Wasser vorhanden sein, verständigen Sie bitte Ihre Assistenz. Es darf nur entionisiertes Wasser zum Nachfüllen verwendet werden, kein Leitungswasser. Die Abdeckung auf dem Wasserbad soll Verschmutzungen minimieren und verhindern, dass zu viel Flüssigkeit beim Erwärmen verdampft. Bitte gehen Sie pfleglich mit dem Versuchsaufbau um! Lehnen Sie sich nicht auf die Stäbe – insbesondere der Glasstab ist sehr zerbrechlich. Achten Sie darauf, das im Wasserbad steckende Thermometer nicht versehentlich abzuschlagen.

6 Auswertung und Diskussion (zu Hause)

Bitte führen Sie zu jedem Wert eine Fehlerrechnung durch. Geben Sie alle verwendeten Formeln an und erläutern Sie kurz, was Sie tun und warum. Zeichnen Sie Ihre Diagramme auf Millimeterpapier und beschriften Sie sie vollständig (Zu welcher Aufgabe gehört das Diagramm? Was ist auf den Achsen aufgetragen?). Hilfestellungen zu den benötigten Methoden, wie der korrekten Angabe von Ergebnissen, Hinweisen zur Fehlerrechnung und Geradenanpassungen, können Sie dem Dokument mit allgemeinen Hilfen auf der AP-Webseite entnehmen¹.

6.1 Bestimmung des linearen Ausdehnungskoeffizienten

- Tragen Sie die gemessenen Längenänderungen als Funktion der Temperatur für jeden Stab einzeln auf Millimeterpapier auf.
- Führen Sie für beide Messreihen jeweils eine grafische Geradenanpassung mit Extremalgeraden durch.
- Führen Sie zusätzlich für beide Messreihen jeweils eine rechnerische Geradenanpassung nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate durch. Denken Sie daran, Zwischenergebnisse (z. B. in einer Tabelle) zu protokollieren und auch den Fehler der Regressionsgeraden zu berechnen.
- Bestimmen Sie den linearen Ausdehnungskoeffizienten für jeden Stab aus der Stablänge L_0 bzw. $L_{0,\text{Glas}}$ und der Steigung der Regressionsgeraden. Berechnen Sie dabei für jede Geradenanpassung (grafisch und rechnerisch) einzeln den Wert für den Ausdehnungskoeffizienten inkl. Fehler (Fehlerrechnung mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung).
- Stellen Sie alle Ergebnisse für die Ausdehnungskoeffizienten inkl. Fehler übersichtlich in einer Tabelle zusammen. Fügen Sie auch die Literaturwerte hinzu. (Denken Sie daran, die Quellen Ihrer Literaturwerte anzugeben!)

6.2 Diskussion

Bewerten Sie ihre Ergebnisse. Entsprechen die Verläufe aller Graphen Ihren Erwartungen? Falls nicht, was könnten mögliche Ursachen sein? Welche Fehlerquellen gibt es in diesem Versuch? Vergleichen Sie die Ergebnisse für die Ausdehnungskoeffizienten, die sie aus einer Messreihe mit den zwei verschiedenen Methoden der Geradenanpassung gewonnen haben. Worin unterscheiden sich die beiden Methoden prinzipiell? Wie groß sind die erzielten Fehlerbereiche? Sind diese Fehler realistisch? Vergleichen Sie die Werte für den linearen Ausdehnungskoeffizienten beider Materialien mit Literaturwerten.

¹<https://www.astro.uni-koeln.de/AP>

7 Anhang: Größenordnungen

Zum Vergleich ein paar Zahlenwerte:

Dicke eines Blatt Papiers (80 g/m^2):	$100 \mu\text{m}$
Durchmesser eines Haars:	$60 - 80 \mu\text{m}$
Mittlerer Durchmesser roter Blutkörperzellen:	$8,4 \mu\text{m}$
Wellenlänge eines „grünen“ Photons:	$0,5 \mu\text{m}$
typische Abmessung eines DNA Moleküls:	$0,0025 \mu\text{m} = 2,5 \text{ nm}$
Gitterkonstante von Eisen:	$0,0002866 \mu\text{m} = 286,6 \text{ pm}$
Radius eines Wasserstoffatoms: (Bohrsches Atommodell)	$0,000053 \mu\text{m} = 53 \text{ pm}$

8 Literatur

- Fehlerrechnung:
<https://www.astro.uni-koeln.de/AP/>
- Meschede und Gerthsen: Physik, Springer, Berlin, 24. Aufl., 2010 (Kapitel 6: Wärme)
- Demtröder: Experimentalphysik 1, Springer, Berlin, 6. Auflage, 2013 (Kapitel 10: Wärmelehre)
- Tipler: Physik, Spektrum, Heidelberg, 3. Auflage, 2000
- Westphal: Physikalisches Praktikum, Vieweg+Teubner