

THERMISCHE AUSDEHNUNG

Unter thermischer Ausdehnung versteht man die Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten bei Temperaturänderung.

In diesem Versuch soll die thermische Längenausdehnung von Metallen (Aluminium, Stahl, Kupfer, Messing) sowie die thermische Volumenausdehnung von Flüssigkeiten (Wasser, Ethylacetat, Glycerin) untersucht und quantitativ erfasst werden.

1 Thermische Ausdehnung

Temperaturänderungen (bei konstantem Druck P) von Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen führen zu einer Änderung des Volumens.

Um dieses Phänomen beschreiben zu können, nutzt man den materialspezifischen, temperaturabhängigen Volumenausdehnungskoeffizient γ

$$\gamma = \frac{1}{V_0} \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

Bei kleinen Temperaturänderungen und im Temperaturbereich, der uns im Praktikum zugänglich ist, lässt sich im Allgemeinen in guter Näherung eine direkte Linearität zwischen relativer Volumenänderung ΔV (V_0 - Ausgangsvolumen, V - Volumen nach Temperaturerhöhung)

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V - V_0}{V_0}$$

und zugehöriger, ursächlicher Temperaturänderung

$$\Delta T = T - T_0$$

beobachten (T_0 Ausgangstemperatur). Daraus lässt sich der (mittlere) Volumenausdehnungskoeffizient durch

$$\bar{\gamma} = \frac{V - V_0}{V_0 \cdot \Delta T} = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

beschreiben. Das Volumen nach einer Temperaturänderung lässt sich durch Umstellen der Gleichung mit

$$V = V_0 + \bar{\gamma} \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

berechnen.

Bei Festkörpern wird der Einfachheit halber (**Warum? – mündl. Vorbereitung**) die relative Längenänderung

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

bzw. der Längenausdehnungskoeffizient α

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \cdot \left(\frac{\partial L}{\partial T} \right)_p \quad \text{und} \quad \bar{\alpha} = \frac{L - L_0}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{1}{L_0} \cdot \frac{\Delta L}{\Delta T}$$

bevorzugt. Die Länge eines Festkörpers nach Temperaturänderung lässt sich damit schreiben als

$$L = L_0 + \bar{\alpha} \cdot L_0 \cdot \Delta T.$$

2 Grundlagen

Die Bausteine (Moleküle, Atome, Ionen) eines Körpers sind durch eine langreichweitige, anziehende (Bindungs-)Kraft

- die elektrostatische Bindung bei Ionenkristallen (z.B. NaCl),
- die Wasserstoffbrückenbindung (Dipolbindung) beim Wasser,
- die van der Waals-Bindung bei Edelgaskristallen,
- die metallische Bindung bei Metallen

aneinander gebunden. Eine abstoßende Kraft (Coulombwechselwirkung, Pauli-Prinzip) sorgt für einen endlichen Abstand benachbarter Teilchen. Der Gleichgewichtsabstand zweier Teilchen r_0 befindet sich dort, wo beide Kräfte sich aufheben (die Summe aller Kräfte null ist). Am absoluten Nullpunkt ($T = 0$ K) befänden sich die beiden Teilchen in diesem Abstand in Ruhe.

Bei endlichen Temperaturen führen die einzelnen Teilchen Schwingungen um ihren Gleichgewichtsabstand aus, deren Amplitude mit zunehmender Temperatur wächst. Die innere Energie eines Körpers, die sich als Summe der Bindungsenergie sowie der Bewegung (als Zusammensetzung von ungeordneter Bewegung, Rotationen und Schwingungen) der Teilchen, darstellt, ist direkt proportional zur Temperatur

Dieser Effekt des Verschiebens der Schwingungsmittelpunkte bzw. des Teilchenabstandes wird als **thermische Ausdehnung** (oder auch Wärmeausdehnung) bezeichnet. Das hier beschriebene Modell lässt sich ebenso auf Flüssigkeiten übertragen.

3 Versuchsvorbereitung (schriftlich)

1. Recherchiere und notiere die Literaturwerte der Ausdehnungskoeffizienten von Glycerin, Ethylacetat, Messing, Stahl sowie Aluminium.
2. Man zeige, dass zwischen α und γ der Zusammenhang $\gamma \approx 3\alpha$ besteht. Dazu betrachte man einen Würfel des Volumens V mit der Kantenlänge L , welche sich bei Temperaturerhöhung ausdehnt. Hinweis: Größenordnung von α beachten!

4 Versuchsdurchführung

1. Die Volumenausdehnung von Flüssigkeiten soll quantitativ untersucht werden. Hierzu sind zunächst die Pyknometer (Glaskolben mit Steigrohr) bis zur Nullmarke (= 50 ml) mit der betreffenden Flüssigkeit zu füllen. Die Pyknometer

werden dann in ein Wasserbad eingebracht, welches durch eine Thermostatheizung auf definierte Temperaturen gebracht werden kann. Die Messung soll für alle drei Flüssigkeiten (Wasser, Glycerin und Ethylacetat) parallel durchgeführt werden. Die **Volumenänderung** der Flüssigkeiten im Temperaturbereich zwischen Raumtemperatur und ca. 80 °C (ca. 7 Messpunkte) sind zu notieren.

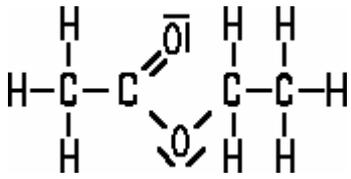
2. Parallel soll die Längenausdehnung zweier verschiedener Metalle quantitativ untersucht werden. Durch die Rohr (Länge 600 mm) wird dazu mit der Umwälzpumpe Wasser aus dem Wasserbad gepumpt. Die Rohre sind einseitig fest eingespannt, an der anderen Seite befindet sich eine Messuhr (1 Teilstrich entspricht 1/100 mm), an der sich die Längenänderung ablesen lässt. Die **Längenänderung** der Metallrohre ist zu notieren.

5 Auswertung

1. Die **relative Volumenänderung** der Flüssigkeiten sowie die **relative Längenausdehnung** der Rohre sind als Funktion der Temperatur grafisch darzustellen.
2. **Aus den Diagrammen** der Metalle sowie Glycerin und Ethylacetat sind die jeweiligen Ausdehnungskoeffizienten zu bestimmen und mit den Literaturwerten zu vergleichen. Um welche Metalle handelt es sich? Tipp1: Lineare Regression oder handgezeichnete „Ausgleichsgerade“ mit Steigungsdreieck
Tipp2: Tabelle zum Vergleich
3. Für Wasser sind für die einzelnen Temperaturen die Ausdehnungskoeffizienten zu berechnen. Achtung: Die Volumenausdehnung ist immer auf den vorherigen Wert zu beziehen. Trage diese experimentell ermittelten Werte **UND** die Literaturwerte (s. Anhang) in **ein** Diagramm und vergleiche diese.
4. Vergleiche die Ausdehnungskoeffizienten von Wasser und den anderen Materialien im Temperaturbereich von Raumtemperatur bis 80 °C. Worin liegt der Unterschied? Was könnten Gründe sein?
5. **Fehlerbetrachtung** (Welche systematischen oder zufälligen Fehler treten bei unserem Experiment auf?), **Fehlerabschätzung** (Wie groß sind die Fehler der einzelnen Messgrößen?)

6 Anhang

Essigsäureethylester (Ethylacetat) $\text{H}_3\text{C}-\text{COOC}_2\text{H}_5$

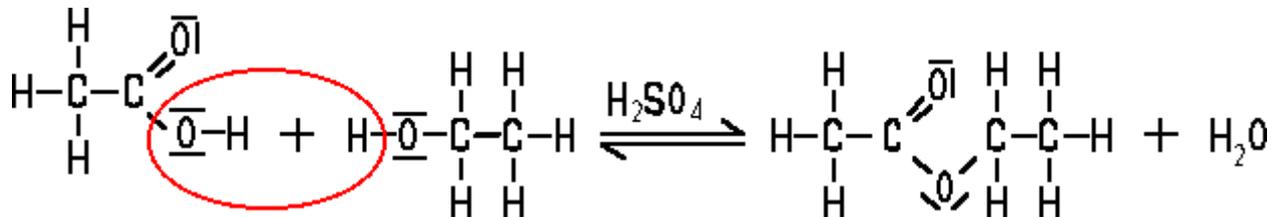
 <p>klare, farblose Flüssigkeit</p>	<p>F leichtentzündlich Xi reizend</p> 	<p>RS-Sätze: R 11-36-66-67, S 16-26-33, E 10-12 Entsorgung: G 1 MAK: 400 ml/m³ MG: 88,1 g/mol Dichte: 0,9 g/cm³ Schmelztemperatur: -83 °C Siedetemperatur: 77 °C Wasserlöslichkeit: in der 10-fachen Menge Wasser löslich andere Löslichkeiten: Alkohol, Diethylether, Chloroform Explosionsgrenzen: 2,1-11,5 Vol.-% (Luft)</p>
---	---	---

Eigenschaften:

Die Dämpfe der nach "Nagellackentferner" oder "Uhu" riechenden Flüssigkeit reizen Atemwege und Augen. In höherer Konzentration wirken die Dämpfe narkotisierend und können auch tödlich wirken. Essigsäureethylester ist in Wasser schwach löslich, wo er unter Licht- und Lufteinwirkung langsam zu [Ethanol](#) und [Essigsäure](#) zerfällt und allmählich sauer reagiert. Er ist ein gutes Lösungsmittel für Öle, Fette, Lacke und Kunstharze.

Herstellung:

Im Labor erfolgt die Synthese aus [Ethanol](#) und [Essigsäure](#) bei Gegenwart von [Schwefelsäure](#) und Wärme in einer Gleichgewichtsreaktion:



In der Technik gewinnt man den Ester aus Acetaldehyd nach dem Tischtschenko-Verfahren.

Verwendung:

Zur Herstellung von künstlichen Aromastoffen in Likören, Bonbons und Limonaden; wichtiges Lösungsmittel bei der Herstellung von Lacken, Kunstharzen, Cellophan, Celluloid, Klebstoffen (UHU), Nagellackentferner, Kunstleder und Kunstseide, Nitrocellulose, Explosivstoffen, usw..

Nagellackentferner mit Ethylacetat

THERMISCHE AUSDEHNUNG

T in °C	γ in 10^{-5} K^{-1}
5	1,60
10	8,80
15	15,1
20	20,7
25	25,7
30	30,3
35	34,5
40	38,4
45	42,0
50	45,4
55	48,6
60	51,6
65	54,4
70	57,1
75	59,7
80	62,1

Tab.1 kubische Ausdehnungskoeffizienten von Wasser bei verschiedenen Temperaturen (nach Kell, G. S. *J. Chem. Eng. Data* **1975**, 20, 97–105.)