

Thermische Ausdehnung

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	2
2	Allgemeine Grundlagen	2
2.1	Definition des Ausdehnungskoeffizienten	2
2.2	Temperaturabhängigkeit des Ausdehnungskoeffizienten	3
3	Experimente	4
3.1	Volumenausdehnung einer Flüssigkeit	4
3.2	Längenausdehnung eines Festkörpers	4
4	Bestimmung des mittleren therm. Ausdehnungskoeffizienten	5
5	Deutung der Wärmeausdehnung von Festkörpern	5
6	Schwerpunkte zur Vorbereitung	6

1 Aufgabenstellung

Es sind zu bestimmen:

1. die lineare thermische Ausdehnung eines Festkörpers
2. die Volumenausdehnung einer Flüssigkeit

2 Allgemeine Grundlagen

2.1 Definition des Ausdehnungskoeffizienten

Temperaturänderungen führen bei Festkörpern und Flüssigkeiten zur Änderung des Volumens V . Zur Beschreibung dieses Phänomens bedient man sich des materialspezifischen, temperaturabhängigen Volumenausdehnungskoeffizienten

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

Für kleine Temperaturänderungen beobachtet man in guter Näherung eine lineare Proportionalität zwischen relativer Volumenänderung $\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V - V_0}{V_0}$ und Temperaturänderung $\Delta T = T - T_0$, woraus sich der mittlere Ausdehnungskoeffizient

$$\bar{\gamma} = \frac{\Delta V}{V_0 \cdot \Delta T} \quad (2)$$

bestimmen läßt.

Bei Festkörpern wird die Angabe der relativen Längenänderung $\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$ bzw. des Längenausdehnungskoeffizienten

$$\alpha = \frac{1}{L_0} \left(\frac{\partial L}{\partial T} \right)_P \quad (3)$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} \quad (4)$$

bevorzugt, für isotrope Stoffe gilt: $\gamma = 3\alpha$

2.2 Temperaturabhängigkeit des Ausdehnungskoeffizienten - Grüneisen-Beziehung

Der thermische Ausdehnungskoeffizient ist eine stark temperaturabhängige Größe. Abb. 1 zeigt am Beispiel von Kupfer einen typischen (T) -Verlauf. Die Grüneisen-Beziehung

$$\Gamma = \frac{\gamma}{\kappa_T \cdot C_V \cdot \rho} \approx \text{const.} \quad (5)$$

gibt eine Orientierung für das Temperaturverhalten:

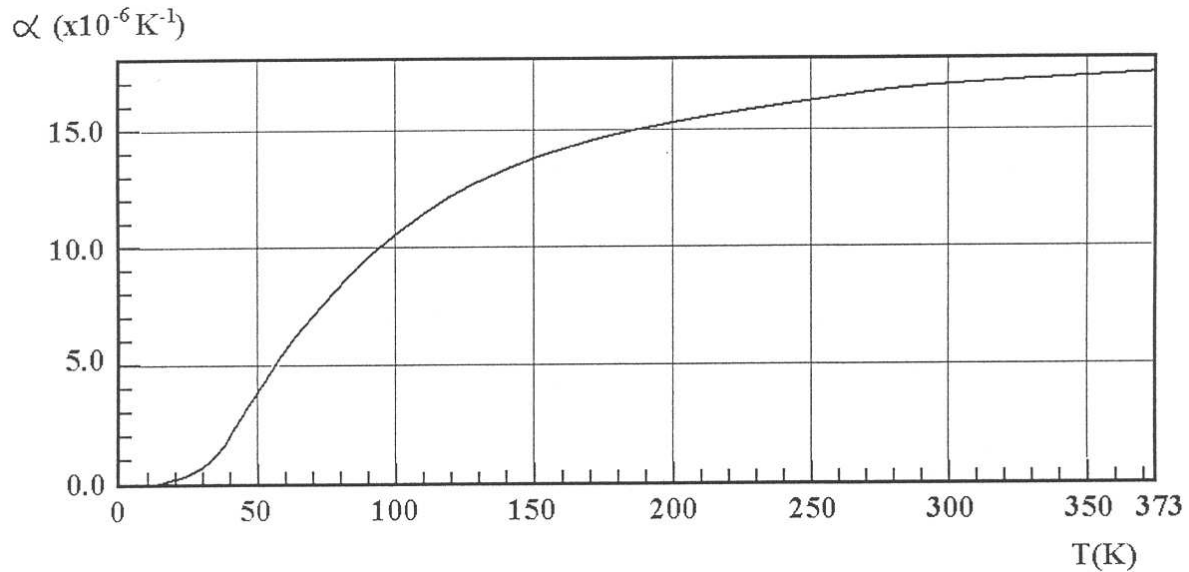
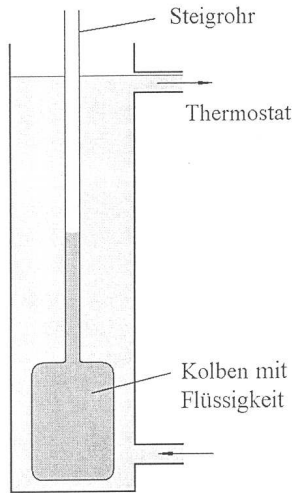


Abbildung 1: Temperaturabhängigkeit des thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Kupfer

Da die isotherme Kompressibilität κ_T und die Dichte ρ nur schwach temperaturabhängig sind, folgt γ_T im wesentlichen dem Verlauf der spezifischen Wärmekapazität $c_V(T)$. Die Angabe eines konstanten Ausdehnungskoeffizienten ist demzufolge nur für sehr kleine Temperaturintervalle gerechtfertigt, bei den im Versuch zu ermittelnden Koeffizienten $\bar{\gamma}$ bzw. $\bar{\alpha}$ handelt es sich um Mittelwerte über das entsprechende Temperaturgebiet.

3 Experimente

3.1 Volumenausdehnung einer Flüssigkeit



Ein mit einem Steigrohr versehener Glaskolben (Leermasse des Kolbens m_K) enthält die zu untersuchende Flüssigkeit (Abb. 3.1). Durch Wägung des gefüllten Kolbens und unter Einbeziehung der bekannten Dichte der Flüssigkeit wird deren Volumen V_0 bei der Starttemperatur T_0 ermittelt. In einem Wasserbad, dessen Temperatur mittels eines Thermostaten geregelt werden kann, werden Glasgefäß und Flüssigkeit gemeinsam erwärmt und die Volumenänderung als Funktion der Temperatur ermittelt. In einem Diagramm sind die Meßwerte der relativen Volumenänderung $\frac{V-V_0}{V_0}$ über der Temperaturdifferenz $T - T_0$ darzustellen.

Abbildung 2: Versuchsanordnung zur Messung des Volumenausdehnungskoeffizienten einer Flüssigkeit

3.2 Längenausdehnung eines Festkörpers

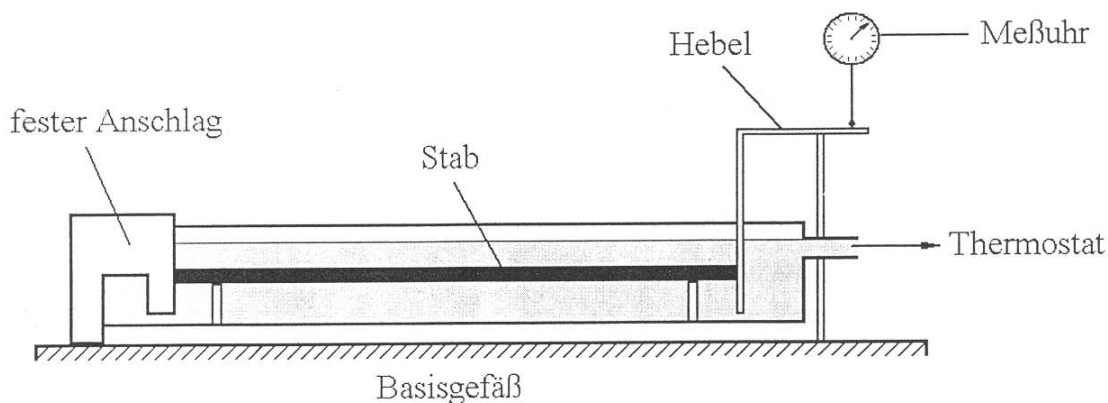


Abbildung 3: Versuchsanordnung zur Messung des Längenausdehnungskoeffizienten eines Festkörpers

Ein Stab (Länge L_0 bei der Temperatur T_0) wird so in eine Meßzelle eingebracht, dass eines seiner Enden über einen Hebel mit einem empfindlichen Längenmeßgerät (Meßuhr) kontaktiert wird (Abb. 3). Unter Verwendung eines Thermostaten kann die Temperatur des Stabes verändert werden, Meßgrößen sind die Längenänderung und die zugehörige Temperatur T . In einem Diagramm sind die Meßwerte der relativen Längenänderung $\frac{L-L_0}{L_0}$ über der Temperaturdifferenz $T - T_0$ darzustellen.

4 Bestimmung des mittleren therm. Ausdehnungskoeffizienten

Während beim Hebelverfahren die Temperatur des Basisgefäßes während der gesamten Meßdauer nahezu konstant bleibt, muß beim Dilatometer die Ausdehnung des Glaskolbens (Ausdehnungskoeffizient α_K) bei der Auswertung berücksichtigt werden (Formel herleiten!):

$$\gamma = \frac{V - V_0}{V_0(T - T_0)} + 3\alpha_K \frac{V}{V_0} \quad (6)$$

Ausgehend von den zur $\bar{\gamma}$ - bzw. $\bar{\alpha}$ - Berechnung benutzten Formeln (2) und (4) ist der Fehler des Ausdehnungskoeffizienten aus den Fehlern der Einzelmessungen abzuschätzen.

5 Deutung der Wärmeausdehnung von Festkörpern

Die atomaren Bausteine eines Körpers sind durch eine anziehende Kraft aneinander gebunden, eine zweite, abstoßende Kraft sorgt für einen endlichen Abstand benachbarter Teilchen untereinander. Der Gleichgewichtsabstand r_0 liegt dort, wo die Summe dieser beiden Kräfte verschwindet. Für $T = 0$ würden sich die Teilchen in diesem Abstand voneinander in Ruhe befinden. Wären beide entgegengesetzt wirkenden Kräfte harmonisch, so würde sich in dem daraus resultierenden symmetrischen (parabolischen) Bindungspotential (Abb. 4, W_{harm}) auch bei Temperaturerhöhung keine Vergrößerung des Gleichgewichtsabstandes der Teilchen ergeben. Erst durch die Einführung

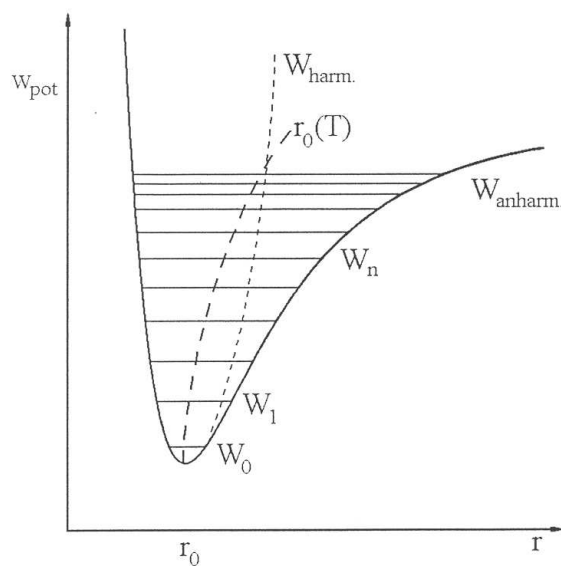


Abbildung 4: Wechselwirkungspotential zwischen zwei Atomen eines Kristallgitters, r_0 - mittlerer Atomabstand

eines anharmonischen (asymmetrischen) Potentials (Abb. 4, W_{anharm}), welches sich durch die Berücksichtigung der wesentlich längeren Reichweite der anziehenden im Vergleich zur abstoßenden Kraftkomponente ergibt, nimmt mit wachsender Teilchenenergie ($W_0 < W_1 < W_2$) der mittlere Teilchenabstand zu. Dieser Effekt wird als thermische oder Wärmeausdehnung bezeichnet. Das von Grüneisen entwickelte Modell der thermischen Ausdehnung basiert auf den Vorstellungen von Debye,

der für die Berechnung der spezifischen Wärmekapazität das Schwingungsverhalten der Gitterbausteine durch harmonische Oszillatoren beschreibt. Durch Einführung kleiner Anharmonizitäten läßt sich die Ausdehnung durch den in Gl. (5) gegebenen Ausdruck erfassen. Diese wird für viele Materialien experimentell durch einen konstanten Grüneisenparameter Γ bestätigt.

Auf Grund der stärkeren Bindung der Atome im Festkörper im Vergleich zur Flüssigkeit liegt der Ausdehnungskoeffizient der Flüssigkeiten um rund eine Größenordnung über dem der Festkörper.

6 Schwerpunkte zur Vorbereitung

1. Theoretische Vorstellungen zum Verständnis der thermischen Ausdehnung von Festkörpern und Flüssigkeiten
2. Mathematische Beschreibung der thermischen Ausdehnung (relative Volumen- und Längenänderung, Volumen- und Längenausdehnungskoeffizienten, Beziehungen zwischen diesen Größen)
3. Diskussion der in der Anleitung beschriebenen Verfahren: Vor- und Nachteile, Fehlerquellen, Herleitung der zur Auswertung benötigten Formeln
4. Beispiele für technische Relevanz des Effektes der thermischen Ausdehnung als nützliche bzw. störende Größe

Literatur

- [1] C.Kittel, Einführung in die Festkörperphysik, R.Oldenburg Verlag München Wien 1988
- [2] A. Recknagel, Physik, Schwingungen und Wellen, Wärmelehre, Verlag Technik Berlin 1970
- [3] Grimsehl, Lehrbuch der Physik Band IV, Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig 1988
- [4] L. Bergmann, C. Schäfer, Mechanik, Akustik, Wärmelehre, Berlin 1987
- [5] F.X.Eder, Moderne Meßmethoden der Physik Teil II, Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin 1956
- [6] W. -H. Westphal, Physikalisches Praktikum, V. Vieweg 1971
- [7] W. Ilberg, M. Krötsch, K. Kreher, A. Schneider, H. Schulze Physikalisches Praktikum für Anfänger, Leipzig 1988