

Bestimmung der Volumenausdehnungskoeffizienten von Flüssigkeiten

Versuchsziele

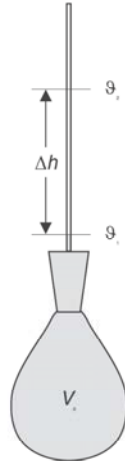
- Bestimmung des Volumens V_0 des Volumen-Dilatometers.
- Messung der Volumenausdehnung von Wasser und Ethanol als Funktion der Temperatur und Bestimmung der Volumenausdehnungskoeffizienten γ .
- Vergleich der Volumenausdehnungskoeffizienten von Wasser und Ethanol.

Grundlagen

Eine Flüssigkeit mit dem Volumen V_0 erfährt - ähnlich wie ein Festkörper - bei einer Temperaturänderung $\Delta\vartheta$ die Volumenänderung

$$\Delta V_0 = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta\vartheta \quad (I)$$

Der Volumenausdehnungskoeffizient γ ist weitgehend unabhängig von der Temperatur ϑ , jedoch abhängig vom Material. Flüssigkeiten dehnen sich im allgemeinen stärker aus als Festkörper.



Zur Bestimmung des Volumenausdehnungskoeffizienten von Flüssigkeiten ist das Volumen-Dilatometer geeignet. Es besteht aus einer Glasflasche, auf deren Öffnung eine Kapillare mit bekanntem Radius r als Steigrohr sitzt. Die Steighöhe h der Messflüssigkeit im Steigrohr wird auf einer mm-Skala abgelesen. Sie nimmt zu, wenn die Glasflasche in einem Wasserbad gleichmäßig erwärmt wird und sich das Volumen der Messflüssigkeit ausdehnt. Der Steighöhenänderung Δh entspricht eine Volumenänderung

$$\Delta V = \pi \cdot r^2 \cdot \Delta h \quad (II)$$

mit $r = (1,50 \pm 0,08)$ mm

Allerdings muss berücksichtigt werden, dass sich das Volumen-Dilatometer selbst bei Erwärmung ebenfalls ausdehnt. Diese Ausdehnung wirkt der Änderung des Flüssigkeitsstandes entgegen. Die Volumenänderung der Messflüssigkeit durch thermische Ausdehnung ist also

$$\Delta V_0 = \Delta V + \Delta V_D \quad (III).$$

Dabei gilt für die Volumenänderung ΔV_D des Volumen-Dilatometers

$$\Delta V_D = \gamma_D \cdot V_0 \cdot \Delta\vartheta \quad (IV).$$

mit $\gamma_D = 0,99 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$

Aus (I), (III) und (IV) folgt für den Volumenausdehnungskoeffizienten der Messflüssigkeit

$$\gamma = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta\vartheta} + \gamma_D \quad (V)$$

Zu bestimmen ist also noch das Volumen V_0 des Volumen-Dilatometers. Dazu werden die Massen m_1 des leeren, trockenen Volumen-Dilatometers und m_2 des bis zum Anfang des Steigrohres mit reinem Wasser gefüllten Volumen-Dilatometers ermittelt. Da die Dichte ρ von Wasser bei bekannter Temperatur ϑ sehr genau bekannt ist (siehe Tab. 1), erhält man das Volumen aus

$$V_0 = \frac{m_2 - m_1}{\rho} \quad (VI).$$

Tab. 1: Literaturwerte für die Dichte ρ von reinem Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur ϑ :

| ϑ °C | ρ g · cm ⁻³ | ϑ °C | ρ g · cm ⁻³ |
|-------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| 15 | 0,999099 | 23 | 0,997540 |
| 16 | 0,998943 | 24 | 0,997299 |
| 17 | 0,998775 | 25 | 0,997047 |
| 18 | 0,998596 | 26 | 0,996785 |
| 19 | 0,998406 | 27 | 0,996515 |
| 20 | 0,998205 | 28 | 0,996235 |
| 21 | 0,997994 | 29 | 0,995946 |
| 22 | 0,997772 | 30 | 0,995649 |

Geräte

| | |
|---|---------|
| 1 Volumen-Dilatometer..... | 382 15 |
| 1 Thermometer, -10° bis 110 °C..... | 382 34 |
| oder | |
| 1 Temperaturfühler NiCr-Ni..... | 666 193 |
| 1 Digitales Temperaturmessgerät, z.B. | 666 190 |
| 1 Schul-, Laborwaage 311..... | 315 05 |
| 1 Heizplatte, 150 mm, 1500 W..... | 666 767 |
| 1 Becherglas, 400 ml, n.F., Hartglas..... | 664 104 |
| 1 Kleiner Stativfuß, V-förmig..... | 300 02 |
| 1 Stativstange, 47 cm..... | 300 42 |
| 2 Leybold-Muffe..... | 301 01 |
| 2 Universalklemme, 0...80 mm..... | 666 555 |
| 1 Ethanol, vollständig vergällt, 1 l..... | 671 972 |
| <i>zusätzlich erforderlich:</i> | |
| destilliertes oder demineralisiertes Wasser | |

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 1 dargestellt.

- Volumen-Dilatometer bis zum Steigrohr in das Heizbad eintauchen.
- Heizplatte auf kleinster Stufe einschalten und abschalten, wenn die größte ablesbare Steighöhe im Volumen-Dilatometer fast erreicht ist.

Hinweis: Nach Abschalten der Heizplatte wird die Messflüssigkeit etwas weiter erwärmt, so dass das Volumen-Dilatometer überlaufen kann.

Insbesondere bei Füllung mit Ethanol die Heizplatte rechtzeitig abschalten.

- Höchsten Flüssigkeitsstand im Steigrohr abwarten und anschließend Wasserbad ca. 1-2 K abkühlen lassen.
- Wasserbad weiter abkühlen lassen und Steighöhe h des Wassers im Steigrohr in Abhängigkeit von der Temperatur bestimmen (siehe Tab. 2).
- Anschließend Ethanol als Messflüssigkeit in das sorgfältig getrocknete Volumen-Dilatometer füllen, im Wasserbad erwärmen und Messung der Steighöhe als Funktion der Temperatur wiederholen (siehe Tab. 3).

Aufbau und Durchführung

Hinweis:

Die Messung der Steighöhe h kann durch unterschiedlich große Kapillarkräfte erheblich verfälscht werden.

Kapillare sauber halten und ggf. mit technischen Reinigungslösungen unter anschließender Spülung mit destilliertem Wasser reinigen.

a) Kalibrierung des Volumen-Dilatometers:

- Masse m_1 des leeren, trockenen Volumen-Dilatometers mit Steigrohr bestimmen.
- Steigrohr entfernen und reines Wasser bis zum unteren Drittel der geschliffenen Öffnung einfüllen.
- Zur Vermeidung von Luftblasen das Volumen-Dilatometer im Wasserbad bis fast an den Siedepunkt erhitzen.
- Wasserbad auf Zimmertemperatur abkühlen lassen, Temperatur ϑ notieren.
- Steigrohr aufsetzen und ggf. Flüssigkeitsstand ausgleichen. Der Wasser sollte im Steigrohr möglichst tief stehen.
- Volumen-Dilatometer außen abtrocknen. Masse m_2 des mit Wasser gefüllten Volumen-Dilatometers bestimmen.

b) Messung der Volumenausdehnung von Wasser und Ethanol:

Messbeispiele

a) Kalibrierung des Volumen-Dilatometers:

$m_1 = 28,52 \text{ g}$
 $m_2 = 80,02$
 $\vartheta = 20,3 \text{ °C}$

b) Messung der Volumenausdehnung von Wasser:

Tab. 2: Steighöhe h von reinem Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur ϑ .

| ϑ °C | h mm | V mm ³ | $\frac{\Delta V}{\Delta \vartheta}$ mm ³ /°C | $\frac{\Delta \vartheta}{\Delta V}$ °C/mm ³ | γ 10 ⁻⁵ / K |
|-------------------|-----------|------------------------|--|---|----------------------------------|
| 46,1 | 77 | 51817 | 14 | 1,3 | 21,0 |
| 44,8 | 75 | 51803 | 35 | 2,1 | 32,4 |
| 42,7 | 70 | 51768 | 14 | 0,8 | 34,1 |
| 41,9 | 68 | 51754 | 22 | 0,9 | 47,6 |
| 41,0 | 65 | 51732 | 21 | 1,2 | 34,1 |
| 39,8 | 62 | 51711 | 14 | 0,7 | 38,9 |
| 39,1 | 60 | 51697 | 14 | 0,7 | 38,9 |
| 38,4 | 58 | 51683 | 21 | 1,1 | 37,1 |
| 37,3 | 55 | 51662 | 21 | 1,2 | 34,1 |
| 36,1 | 52 | 51641 | 15 | 0,7 | 41,7 |
| 35,4 | 50 | 51626 | 14 | 0,9 | 30,3 |
| 34,5 | 48 | 51612 | 21 | 1,1 | 37,1 |
| 33,4 | 45 | 51591 | 21 | 1,2 | 34,1 |
| 32,2 | 42 | 51570 | 14 | 0,8 | 34,1 |
| 31,4 | 40 | 51556 | 36 | 2,1 | 33,4 |
| 29,3 | 35 | 51520 | 42 | 2,9 | 28,2 |
| 26,4 | 29 | 51478 | 7 | 0,3 | 45,4 |
| 26,1 | 28 | 51471 | 28 | 1,9 | 28,7 |
| 24,2 | 24 | 51443 | 14 | 1,2 | 22,7 |
| 23,0 | 22 | 51429 | 22 | 2,0 | 21,4 |
| 21,0 | 19 | 51407 | 7 | 0,7 | 19,5 |
| 20,3 | 18 | 51400 | | | |

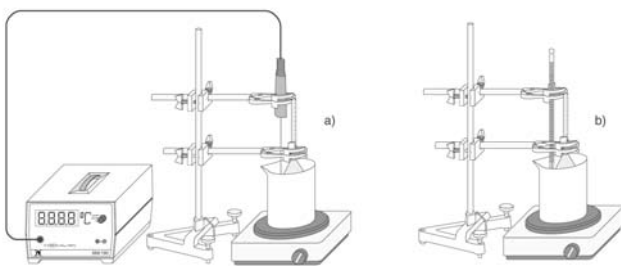


Fig. 1 Versuchsaufbau zur Bestimmung des Volumenausdehnungskoeffizienten von Flüssigkeiten.

- a) Verwendung des Temperaturfühlers
- b) Verwendung des Thermometers

c) Messung der Volumenausdehnung von Ethanol:

Tab. 3: Steighöhe h von Ethanol in Abhängigkeit von der Temperatur ϑ .

| ϑ °C | h mm | V mm ³ | $\frac{\Delta V}{\Delta \vartheta}$ mm ³ /°C | $\frac{\Delta \vartheta}{\Delta \vartheta}$ °C | γ 10 ⁻⁵ / K |
|-------------------|-----------|------------------------|--|---|----------------------------------|
| 38 | 99 | 51973 | 57 | 1 | 111 |
| 37 | 91 | 51916 | 56 | 1 | 109 |
| 36 | 83 | 51860 | 64 | 1 | 125 |
| 35 | 74 | 51796 | 64 | 1 | 125 |
| 34 | 65 | 51732 | 64 | 1 | 125 |
| 33 | 56 | 51668 | 70 | 1 | 136 |
| 32 | 46 | 51598 | 64 | 1 | 125 |
| 31 | 37 | 51534 | 70 | 1 | 136 |
| 30 | 27 | 51464 | 64 | 1 | 125 |
| 29 | 18 | 51400 | 64 | 1 | 125 |
| 28 | 9 | 51336 | | | |

Auswertung und Ergebnis

a) Kalibrierung des Volumen-Dilatometers:

Massendifferenz: $m_2 - m_1 = 51,50 \text{ g}$
 Dichte ρ für $\vartheta = 20,3 \text{ °C}$: $\rho = 0,9981 \text{ g cm}^{-3}$ (vgl. Tab. 1)
 Mit (VI) erhält man: $V_0 = 51,40 \text{ cm}^3$

b) Volumenausdehnung von Wasser:

- Volumen $V = V_0 + \Delta V$ des Wassers (mit Gleichung II) berechnen, in die Tabelle 2 eintragen und im Diagramm gegen die Temperatur auftragen:

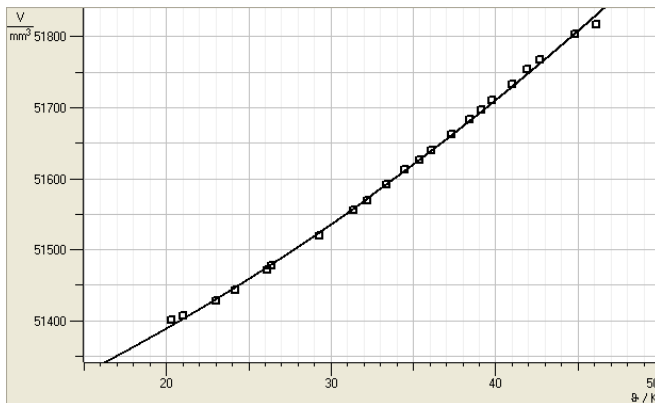


Diagramm: Thermische Volumenausdehnung V von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur ϑ .

Die Volumenausdehnung von Wasser ist nicht direkt proportional zur Temperatur, es ergibt sich kein linearer Zusammenhang. Der Anstieg wird mit zunehmender Temperatur größer, d.h. der zum Anstieg $\frac{dV}{d\vartheta}$ (bzw. $\frac{\Delta V}{\Delta \vartheta}$) proportionale Volumenausdehnungskoeffizient γ nimmt mit der Temperatur zu.

Zusatzhinweis:

Der Volumenausdehnungskoeffizient von Wasser ist zwischen 0°C und 4°C negativ. Die thermischen Anomalie des Wassers, d.h. die Abnahme der Volumenausdehnung im Temperaturbereich zwischen 0°C und 4°C, wird im Versuch P2.1.3.1 untersucht.

- Volumenänderung ΔV , Temperaturänderung $\Delta \vartheta$ und daraus den Volumenausdehnungskoeffizienten γ (mit Gleichung V) berechnen, in die Tabelle 2 eintragen und im Diagramm gegen die Temperatur auftragen:

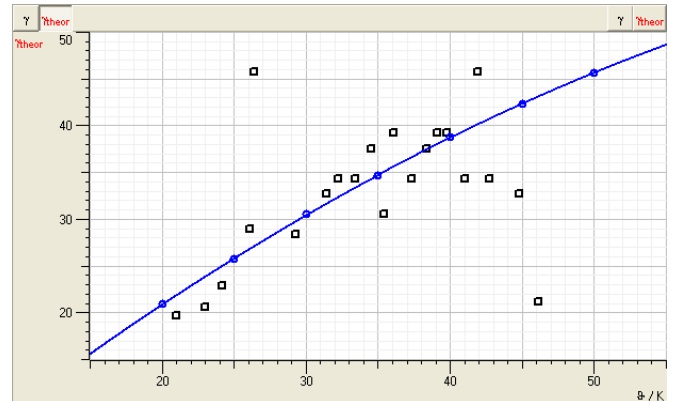


Diagramm: Volumenausdehnungskoeffizient γ von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur ϑ . (Durchgezogene Kurve: Literaturwerte)

Der Volumenausdehnungskoeffizient von Wasser ist stark temperaturabhängig. Er steigt im untersuchten Bereich von $\gamma_{20^\circ\text{C}} \approx 20 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ auf $\gamma_{40^\circ\text{C}} \approx 40 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. (Die z.T. großen Abweichungen von den Literaturwerten erklären sich aus der angenäherten Differentiation durch die Differenzbildung der Messwerte.)

c) Volumenausdehnung von Ethanol:

- Volumen $V = V_0 + \Delta V$ von Ethanol berechnen, in die Tabelle 3 eintragen und im Diagramm gegen die Temperatur auftragen:

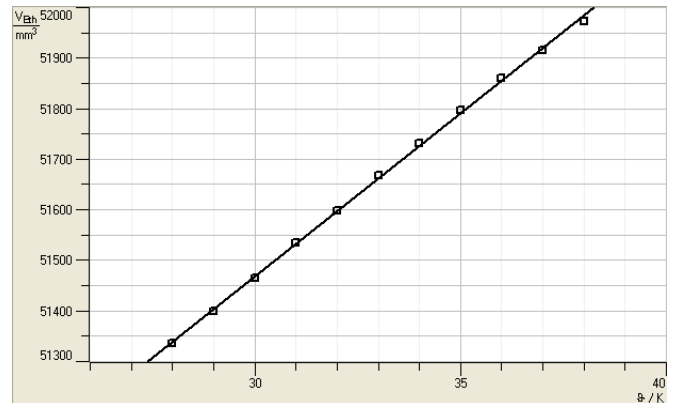


Diagramm: Volumenausdehnungskoeffizient γ von Ethanol in Abhängigkeit von der Temperatur ϑ .

- Volumenänderung ΔV , Temperaturänderung $\Delta \vartheta$, Volumenausdehnungskoeffizienten γ berechnen und in die Tabelle 3 eintragen.

- Mittelwert des Volumenausdehnungskoeffizienten:

$$\gamma = 124 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1} \quad (\text{Literaturwert: } 110 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1})$$

Der Volumenausdehnungskoeffizient von Ethanol ist deutlich größer als von Wasser. Er ist im untersuchten Temperaturbereich konstant. Deswegen ist Ethanol auch als Thermometerflüssigkeit gut geeignet.

