

Untersuchung des Dichtemaximums von Wasser

Versuchsziele

- Messung der thermischen Ausdehnung von Wasser im Temperaturbereich zwischen 0 °C und 15 °C.
- Nachweis der thermischen Anomalie und Bestimmung des Dichtemaximums.

Grundlagen

Eine in ihren Folgen wichtige Anomalie zeigt Wasser bei der Erwärmung von 0 °C an: Bis zu einer Temperatur von ca. 4 °C hat es einen negativen Ausdehnungskoeffizienten, d.h. es zieht sich bei Erwärmung zusammen. Nach einem Nulldurchgang bei 4 °C nimmt der Ausdehnungskoeffizient positive Werte an. Da die Dichte dem Kehrwert des Volumens einer Stoffmenge entspricht, hat Wasser also bei 4 °C ein Dichtemaximum.

Im Versuch wird das Dichtemaximum von Wasser durch Messung der Ausdehnung in einem Gefäß mit Steigrohr nachgewiesen. Die komplette Anordnung wird von der Raumtempe-

ratur ausgehend in einem Eiswasserbad unter ständigem Umrühren auf etwa 1 °C abgekühlt oder nach Abkühlen in einem Eisschrank durch die Umgebungstemperatur langsam erwärmt. Man misst die Steighöhe h in Abhängigkeit von der Wassertemperatur ϑ und kann daraus das Gesamtvolumen des Wassers in Gefäß und Steigrohr berechnen:

$$V(\vartheta) = V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta) \quad (I)$$

$d = 1,7 \text{ mm}$: Innendurchmesser des Steigrohres
 $V_0 = 310 \text{ cm}^3$: Wasservolumen im Gefäß

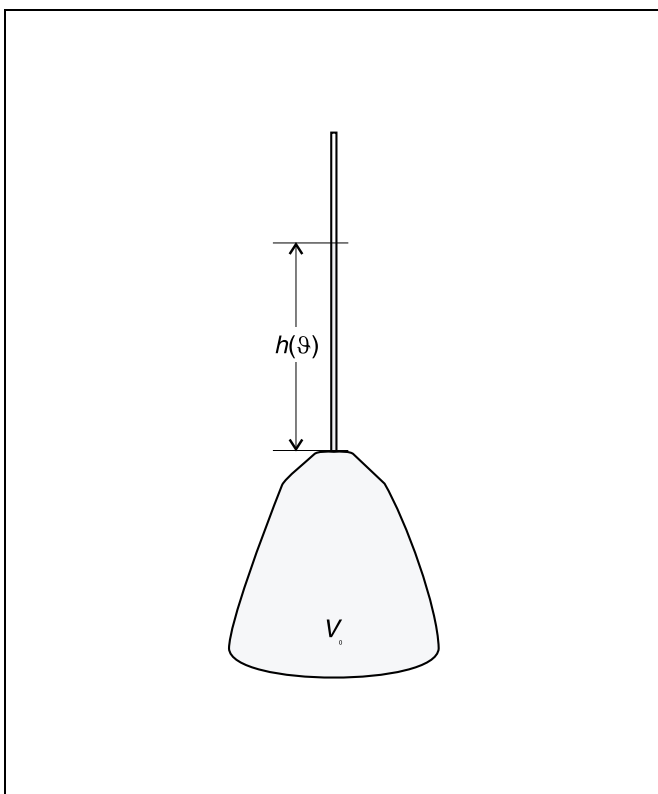
Für die Dichte des Wassers gilt daher

$$\frac{\rho(\vartheta)}{\rho(0^\circ\text{C})} = \frac{V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(0^\circ\text{C})}{V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta)} \quad (II),$$

wenn man vernachlässigt, dass sich das Glasgefäß (Duran) bei Erwärmung ebenfalls ausdehnt. Wird diese Ausdehnung berücksichtigt, ändert sich (II) zu

$$\frac{\rho(\vartheta)}{\rho(0^\circ\text{C})} = \frac{V_0 + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(0^\circ\text{C})}{V_0 \cdot (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \vartheta) + \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot h(\vartheta)} \quad (III).$$

$\alpha = 3,25 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$: linearer Ausdehnungskoeffizient von Duran
Dabei bleibt die thermische Ausdehnung des Steigrohres weiterhin unberücksichtigt.



Bestimmung der thermischen Ausdehnung von Wasser in einem Gefäß mit Steigrohr aus der Höhenänderung im Steigrohr.

Geräte

| | |
|---|---------|
| 1 Gerät zur Demonstration der Wasseranomalie | 667 505 |
| 1 Magnetrührer, ohne Heizplatte | 666 845 |
| 1 Thermometer, -10 °C bis $+40\text{ °C}$ | 382 36 |
| oder | |
| 1 Digitales Temperaturmessgerät | 666 190 |
| 1 Temperaturfühler NiCr-Ni | 666 193 |
| 1 Glaswanne $300 \times 200 \times 150\text{ mm}^3$ | 664 195 |
| 1 Trichter | 665 008 |
| 1 Gummischlauch i \varnothing 8 mm | 307 66 |
| 1 Muffe mit Ring | 301 10 |
| 1 Universalklemme, 0 ... 80 \varnothing | 666 555 |
| 1 Leybold-Muffe | 301 01 |
| 1 Stativstange, 47 cm | 300 42 |
| 1 Kleiner Stativfuß | 300 02 |

zusätzlich erforderlich:

destilliertes Wasser

Eisschrank
oder

500 g zerkleinertes Eis, 50 g Kochsalz

Aufbau

zunächst:

- Rührstäbchen durch Gewindetubus (a) in das Gerät zur Demonstration der Wasseranomalie bringen.
- Thermometer in Schraubverschluss mit 8-mm-Bohrung schieben

oder

- Temperaturfühler NiCr-Ni in Schraubverschluss mit 1,5-mm-Bohrung schieben.
- Schraubverschluss auf Gewindetubus festdrehen.

Einfüllen von destilliertem Wasser:

- Trichter mit Füllrohr (b) verbinden.
- Destilliertes Wasser in Trichter einfüllen, Glashahn öffnen und Wasser kontinuierlich nachgießen, so dass der Trichter während des Einfüllvorgangs stets gefüllt ist.
- Luftblasen durch Schwenken des Gerätes entfernen.

Wenn das Wasser den oberen Rand der Steigrohres erreicht:

- Glashahn schließen.
- Restliches Wasser aus Trichter und Gummischlauch gießen und Gummischlauch abziehen.

Variante 1: Abkühlen des Wassers für Messung mit steigender Temperatur:

- Thermostat des Eisschranks so einstellen, dass die Temperatur im Flaschenfach ca. $0,5\text{--}1\text{ °C}$ beträgt (durch Probieren ermitteln, das Wasser soll nicht gefrieren).
- Gerät zur Demonstration der Wasseranomalie mit destilliertem Wasser füllen und über Nacht im Flaschenfach des Eisschranks abkühlen.

Variante 2: Vorbereitung einer Eismischung für Messung bei sinkender Temperatur:

- Eismischung aus 450 g zerkleinertem Eis und 40 g Kochsalz in Glaswanne ansetzen und gründlich durchmischen.

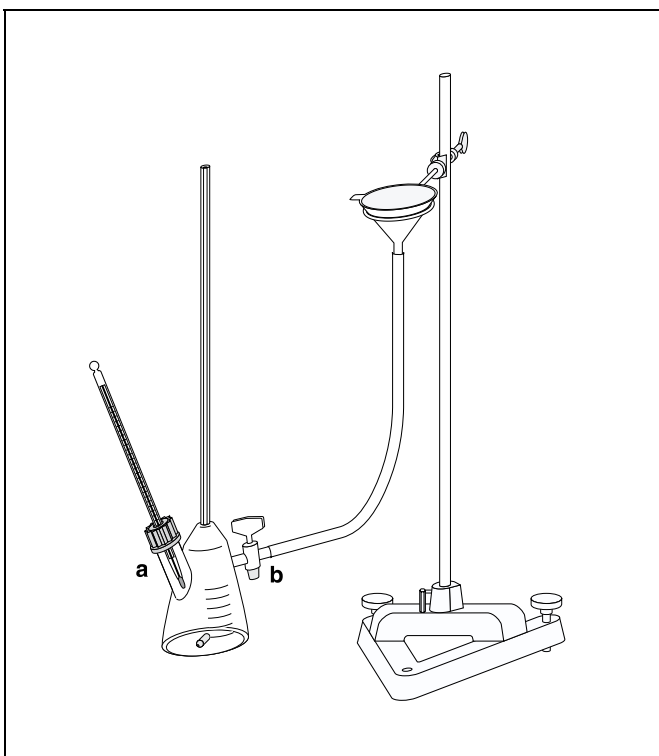


Fig. 1 Einfüllen von destilliertem Wasser
hier als Beispiel dargestellt:
Temperaturmessung mit Thermometer

Durchführung

Variante 1: Messung bei steigender Temperatur:

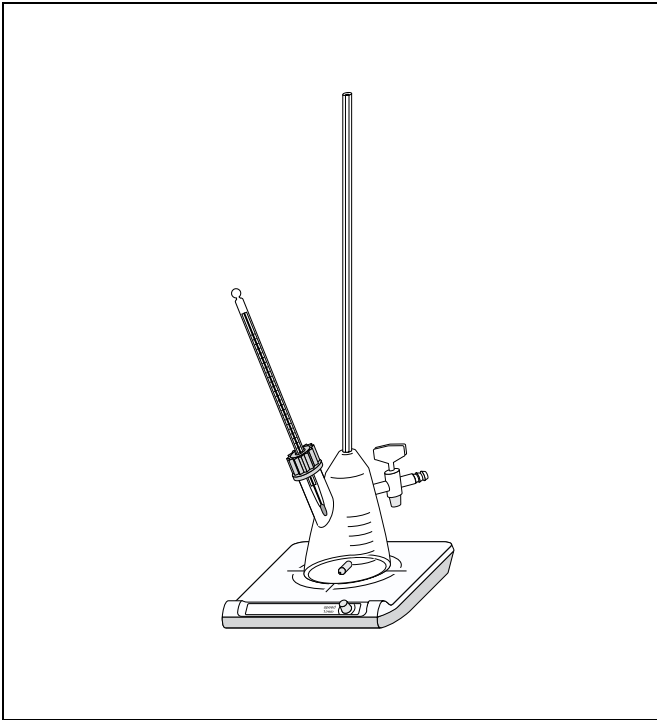


Fig. 2 Versuchsaufbau zur Messung der thermischen Ausdehnung von Wasser bei steigender Temperatur hier als Beispiel dargestellt:
Temperaturmessung mit Thermometer

- Gerät zur Demonstration der Wasseranomalie aus dem Eisschrank nehmen und auf den Magnetprüfer stellen.
- Magnetprüfer sofort einschalten und mittlere Drehzahl einstellen.
- Ggf. digitales Temperaturmessgerät einschalten und Temperaturfühler NiCr-Ni anschließen.
- Wasserstand h im Steigrohr in Abhängigkeit von der Temperatur ϑ ablesen und notieren.

Variante 2: Messung bei sinkender Temperatur:

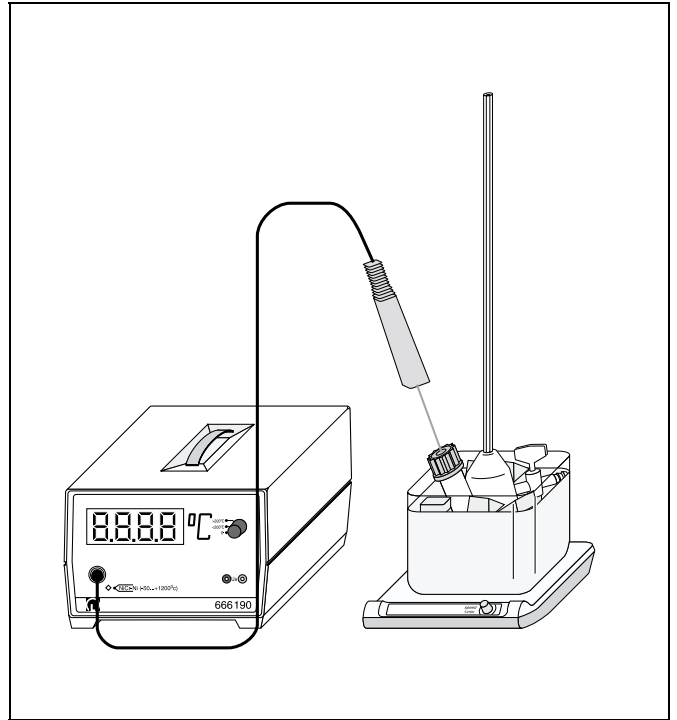


Fig. 3 Versuchsaufbau zur Messung der thermischen Ausdehnung von Wasser bei sinkender Temperatur hier als Beispiel dargestellt:
Temperaturmessung mit Temperaturfühler NiCr-Ni

- Gerät zur Demonstration der Wasseranomalie in Glaswanne mit Eismischung stellen und Glaswanne sofort auf den Magnetprüfer stellen.
- Magnetprüfer sofort einschalten und mittlere Drehzahl einstellen.
- Ggf. digitales Temperaturmessgerät einschalten und Temperaturfühler NiCr-Ni anschließen.
- Wasserstand h im Steigrohr in Abhängigkeit von der Temperatur ϑ ablesen und notieren.

Sobald die Temperatur unter $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sinkt:

- Gerät zur Demonstration der Wasseranomalie aus der Eismischung nehmen (das Wasser soll nicht gefrieren).

Messbeispiel

Tab. 1: Steighöhe h des Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur ϑ , aufgenommen bei steigender Temperatur

| ϑ | $\frac{h}{\text{mm}}$ | ϑ | $\frac{h}{\text{mm}}$ | ϑ | $\frac{h}{\text{mm}}$ |
|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------------------|
| 0,6 °C | 24,6 | 4,0 °C | 23,1 | 7,4 °C | 24,6 |
| 0,8 °C | 24,5 | 4,2 °C | 23,2 | 7,6 °C | 24,7 |
| 1,0 °C | 24,4 | 4,4 °C | 23,2 | 7,8 °C | 24,8 |
| 1,2 °C | 24,2 | 4,6 °C | 23,2 | 8,0 °C | 25,0 |
| 1,4 °C | 24,0 | 4,8 °C | 23,3 | 8,5 °C | 25,6 |
| 1,6 °C | 23,9 | 5,0 °C | 23,4 | 9,0 °C | 26,0 |
| 1,8 °C | 23,8 | 5,2 °C | 23,4 | 9,5 °C | 26,6 |
| 2,0 °C | 23,7 | 5,4 °C | 23,5 | 10,0 °C | 27,0 |
| 2,2 °C | 23,6 | 5,6 °C | 23,5 | 10,5 °C | 28,2 |
| 2,4 °C | 23,5 | 5,8 °C | 23,6 | 11,0 °C | 28,9 |
| 2,6 °C | 23,4 | 6,0 °C | 23,8 | 11,5 °C | 29,8 |
| 2,8 °C | 23,3 | 6,2 °C | 23,8 | 12,0 °C | 30,6 |
| 3,0 °C | 23,2 | 6,4 °C | 23,9 | 12,5 °C | 31,5 |
| 3,2 °C | 23,2 | 6,6 °C | 24,0 | 13,0 °C | 32,7 |
| 3,4 °C | 23,1 | 6,8 °C | 24,1 | 13,5 °C | 33,2 |
| 3,6 °C | 23,1 | 7,0 °C | 24,3 | 14,0 °C | 34,7 |
| 3,8 °C | 23,1 | 7,2 °C | 24,5 | | |

Auswertung

In Fig. 4 sind die Messwerte der Tab. 1 graphisch dargestellt. Für die Steighöhe h bei 0 °C entnimmt man den extrapolierten Wert 25,07 cm. Damit kann gemäß (III) die relative Dichte berechnet werden.

Fig. 5 zeigt eine graphische Darstellung in Abhängigkeit von der Temperatur. Das Maximum der Werte liegt bei $\vartheta = 3,6$ °C und beträgt 1,00013.

Literaturangabe:

Dichtemaximum von Wasser: $\rho(3,89 \text{ °C}) = 0,999973 \text{ g cm}^{-3}$

$$\frac{\rho(3,89 \text{ °C})}{\rho(0 \text{ °C})} = 1,000105$$

Ergebnis

Das Wasservolumen wird bei einer Temperaturerhöhung zwischen 0 °C und etwa 4 °C kleiner und dehnt sich erst bei höheren Temperaturen aus.

Die Dichte von Wasser erreicht bei etwa 4 °C ihren größten Wert.

Fig. 4 Steighöhe h als Maß für die thermische Ausdehnung von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur

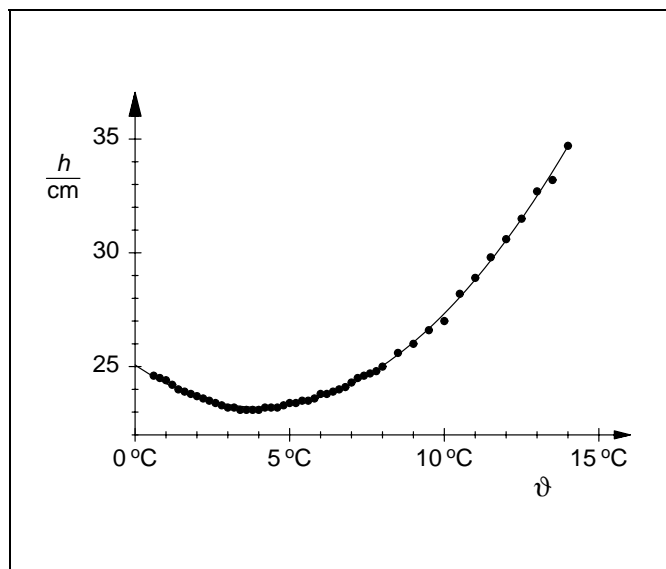


Fig. 5 relative Dichte von Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur
○: berechnet gemäß(II), ●: berechnet gemäß (III)

