

Nr. 47

# **Temperaturabhängigkeit der Molwärme von Festkörpern**

Sara Krieg  
sara.krieg@udo.edu

Marek KArzel  
marek.karzel@udo.edu

Durchführung: 22.06.2020

Abgabe: ??

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Theorie</b>   | <b>3</b> |
| 1.1      | Debye-Modell . . . . .                                   | 3        |
| <b>2</b> | <b>Durchführung</b>                                      | <b>3</b> |
| <b>3</b> | <b>Auswertung</b>  | <b>3</b> |
| 3.1      | Bestimmung von $C_p$ und $C_V$ . . . . .                 | 3        |
| 3.2      | Experimentelle Bestimmung der Debye-Temperatur . . . . . | 5        |
| 3.3      | Theoriewert der Debye-Temperatur . . . . .               | 5        |
| <b>4</b> | <b>Diskussion</b>  | <b>6</b> |
|          | <b>Literatur</b>   | <b>6</b> |

# 1 Theorie

$$C_p - C_V = 9\alpha^2 \kappa V_0 T \quad (1)$$

## 1.1 Debye-Modell

$$\int_0^{w_D} Z(w) dw = 3N \quad (2)$$

$$\theta_D = \frac{\hbar w_D}{k_B} = \frac{\hbar v_s}{k_B} \left( \frac{6\pi^2 N}{L^3} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

## 2 Durchführung

$$T = 0.00134R^2 + 2.296R - 243.02 \quad (4)$$

## 3 Auswertung

Aus den Messwerten wird zunächst die Molwärme für konstanten Druck  $C_p$  errechnet. Anschließend wird diese in die Molwärme bei konstanten Volumen  $C_V$  umgerechnet. Aus den beiden Molwärmern wird die Debye-Temperatur  $\theta_D$  bestimmt. Um diesen vergleichen zu können, wird ein theoretischer Wert für  $\theta_D$  berechnet.

### 3.1 Bestimmung von $C_p$ und $C_V$

Um  $C_p$  zu bestimmen wird

$$C_p = \frac{UI\Delta t M}{\Delta T m}$$

verwendet. Dabei ist  $U$  die Heizspannung,  $I$  der Heizstrom,  $\Delta t$  das Heizintervall,  $M = 63,5 \text{ g/mol}$  die molare Masse [2],  $\Delta T$  die Temperaturerhöhung und  $m = 342 \text{ g}$  [1] die Masse der Probe. Für Kupfer werden weiterhin die Dichte  $\rho = 8,96 \text{ g/cm}^3$  [3] und der Kompressionsmodul  $\kappa = 137,8 \text{ GPa}$  [3] angenommen.

Für  $C_p$  ergeben sich die Werte in Tabelle 1. Mithilfe von Gleichung (4) sind die Temperaturen umgerechnet worden.

Zur Umrechnung von  $C_p$  zu  $C_V$  wird die Gleichung (1) verwendet. Die Werte für  $\alpha$  werden [1] entnommen und die Temperatur  $\bar{T}$  in jedem Intervall gemittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 aufgeführt.

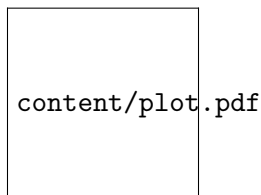
Anschließend werden die Ergebnisse für  $C_V$  gegen die gemittelte Temperatur  $\bar{T}$  in Abbildung 1 aufgetragen.

**Tabelle 1:** Messwerte zur Berechnung der Molwärme bei konstantem Druck  $C_p$ . Die Temperaturen wurden dabei aus (4) berechnet.

| $T_{\text{Probe}} / \text{K}$ | $T_{\text{Gehäuse}} / \text{K}$ | $U / \text{V}$ | $I / \text{A}$ | $\Delta t / \text{s}$ | $C_p / \text{J mol/K}$ |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|-----------------------|------------------------|
| 2999                          | 2,00                            | 7,02           | 5,02           | 0,99                  | 663,45                 |
| 3000                          | 2,00                            | 7,03           | 5,03           | 1,00                  | 664,55                 |
| 3003                          | 8,00                            | 2,91           | 5,09           | 1,01                  | 671,81                 |
| 3000                          | 2,50                            | 7,54           | 5,04           | 1,00                  | 665,87                 |
| 3001                          | 7,54                            | 2,49           | 5,05           | 1,00                  | 666,97                 |
| 3000                          | 2,49                            | 7,53           | 5,04           | 1,00                  | 665,87                 |
| 3001                          | 7,53                            | 2,49           | 5,04           | 1,00                  | 665,65                 |
| 3016                          | 2,49                            | 7,55           | 5,06           | 1,00                  | 664,97                 |
| 3000                          | 7,55                            | 2,51           | 5,04           | 1,00                  | 665,87                 |
| 3000                          | 2,51                            | 7,55           | 5,04           | 1,00                  | 665,87                 |

**Tabelle 2:** Berechnete Werte der Molwärme bei konstantem Volumen  $C_V$ .

| $\bar{T} / \text{K}$ | $\alpha / 1 \cdot 10^{-5^\circ}$ | $C_p / \text{J mol/K}$ | $C_V / \text{J mol/K}$ |
|----------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|
| 2999                 | 2,00                             | 7,02                   | 5,02                   |
| 3000                 | 2,00                             | 7,03                   | 5,03                   |
| 3003                 | 8,00                             | 2,91                   | 5,09                   |
| 3000                 | 2,50                             | 7,54                   | 5,04                   |
| 3001                 | 7,54                             | 2,49                   | 5,05                   |
| 3000                 | 2,49                             | 7,53                   | 5,04                   |
| 3001                 | 7,53                             | 2,49                   | 5,04                   |
| 3016                 | 2,49                             | 7,55                   | 5,06                   |
| 3000                 | 7,55                             | 2,51                   | 5,04                   |
| 3000                 | 2,51                             | 7,55                   | 5,04                   |



**Abbildung 1:** Molwärme  $C_V$  aufgetragen gegen die durchschnittliche Temperatur  $\bar{T}$  im jeweiligen Intervall.

### 3.2 Experimentelle Bestimmung der Debye-Temperatur

Um die Debye-Temperatur  $\theta_D$  zu bestimmen, werden die  $\bar{T}$  mit den entsprechenden Werten  $\frac{\theta_D}{T}$  [1] multipliziert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zu sehen.

**Tabelle 3:** Experimentell bestimmte Werte für die Debye-Temperatur  $\theta_D$ .

| $\bar{T} / \text{K}$ | $C_V / \text{J mol/K}$ | $\frac{\theta_D}{T}$ | $\theta_D / \text{K}$ |
|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| 2999                 | 2,00                   | 7,02                 | 5,02                  |
| 3000                 | 2,00                   | 7,03                 | 5,03                  |
| 3003                 | 8,00                   | 2,91                 | 5,09                  |
| 3000                 | 2,50                   | 7,54                 | 5,04                  |
| 3001                 | 7,54                   | 2,49                 | 5,05                  |
| 3000                 | 2,49                   | 7,53                 | 5,04                  |
| 3001                 | 7,53                   | 2,49                 | 5,04                  |
| 3016                 | 2,49                   | 7,55                 | 5,06                  |
| 3000                 | 7,55                   | 2,51                 | 5,04                  |
| 3000                 | 2,51                   | 7,55                 | 5,04                  |

Der Mittelwert aller bestimmten Debye-Temperaturen  $\theta_D$  ergibt sich zu

$$\bar{\theta}_D = (290 \pm 80) \text{ K}.$$

### 3.3 Theoriewert der Debye-Temperatur

Die Debye-Temperatur lässt sich mit (2) und (3) berechnen. Hierzu werden die Werte  $v_{\text{long}} = 4,7 \text{ km/s}$  und  $v_{\text{trans}} = 2,26 \text{ km/s}$  [1] verwendet. Daraus ergibt sich die Schallgeschwindigkeit zu

$$\begin{aligned} \frac{1}{v_s^3} &= \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{1}{v_i^3} \\ \rightarrow v_s &= 2,54 \frac{\text{km}}{\text{s}}. \end{aligned}$$

Das Volumen  $L^3$  berechnet sich mit

$$L^3 = \frac{m}{\rho}$$

und die Teilchenzahl  $N$  mit

$$N = \frac{m}{M} \cdot N_A,$$

wodurch sich  $w_D = 43,5 \text{ THz}$  und schließlich

$$\theta_{\text{D,theo.}} = 332,6 \text{ K}$$

ergibt.

## 4 Diskussion

blablabla

Der Vergleich des Mittelwerts der experimentell ermittelten Debye-Temperatur  $\bar{\theta}_{\text{D}}$  mit dem Theoriewert  $\theta_{\text{D,theo.}}$  liefert mit

$$x = \frac{|\theta_{\text{D,theo.}} - \bar{\theta}_{\text{D}}|}{|\theta_{\text{D,theo.}}|} \cdot 100 \%$$

einen relativen Fehler von... was unter Berücksichtigung der Messfehler ein akzeptables Ergebnis ist.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch 47 - Temperaturabhängigkeit der Molwärme von Festkörpern*. 2020.
- [2] Lenntech. *Kupfer(CU)*. 2020. URL: <https://www.lenntech.de/pse/elemente/cu.htm>.
- [3] Rene Rausch. *29, Kupfer(CU)*. 2020. URL: <http://www.periodensystem-online.de/index.php?el=29&id=modify>.