

## Versuch 1: Molare Wärmekapazität von Festkörpern

---

Durchführende: Isaac Maksso, Julia Stachowiak  
Assistent: Christoph  
Versuchsdatum: 3.11.2016  
Datum der ersten Abgabe: 10.11.2017

TestGithub

Messwerte:

Literaturwerte:

$$M_{\text{Campher}} = 152,23 \text{ g mol}^{-11}$$

$$M_{\text{KCl}} = 74,55 \text{ g mol}^{-12}$$

---

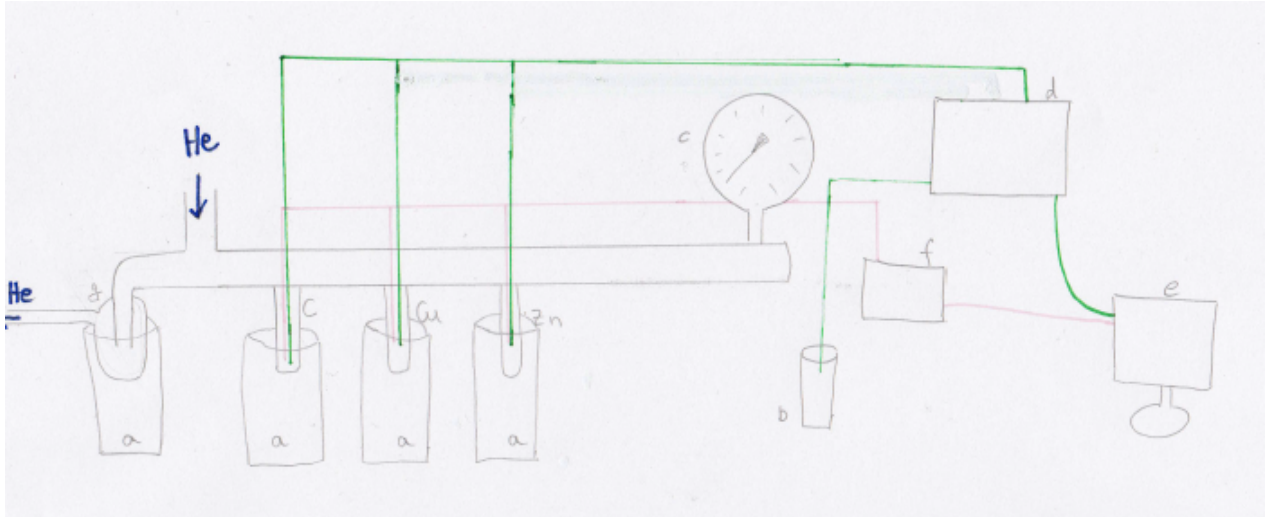
<sup>2</sup>Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Campher>, aufgerufen am 31.12.16

<sup>2</sup>Quelle: <http://www.chemie.de/lexikon/Kaliumchlorid.html>, aufgerufen am 31.12.16

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Experimenteller Aufbau</b>  | <b>3</b> |
| <b>2</b> | <b>Durchführung</b>  | <b>3</b> |
| <b>3</b> | <b>Auswertung</b>  | <b>4</b> |
| 3.1      | Bestimmung von $\Delta T$ . . . . .                                    | 4        |
| 3.2      | Bestimmung von $f$ . . . . .   | 4        |
| 3.3      | Berechnung $c_p(T)$ . . . . .  | 5        |
| 3.4      | Berechnung von $c_V(T)$ nach Debye . . . . .                           | 6        |
| 3.5      | Berechnung der zugehörigen $\langle \Theta_D \rangle$ -Werte . . . . . | 6        |
| 3.6      | Auftragung $\frac{T}{\Theta_D}$ . . . . .                              | 8        |
| <b>4</b> | <b>Fehlerrechnung</b>  | <b>8</b> |
| <b>5</b> | <b>Diskussion</b>  | <b>8</b> |
| 5.1      | Literaturverzeichnis . . . . .   | 9        |

# 1 Experimenteller Aufbau



**Abbildung 1:** Versuchsaufbau.

- a) Dewergefäß
- b) Vergleichstemperaturbad ( $T_{Soll} = 273,15 \text{ K}$ )
- c) Druckanzeige
- d) Thermoelement
- e) PC mit Labview
- f) Heizsteuerung
- g) Gas auffang

## 2 Durchführung

Die Messung erfolgte für jeden Stoff bei drei verschiedenen Temperaturen; begonnen wurde mit der Messung bei Raumtemperatur. Damit überall die gleiche Temperatur herrscht, wurde zunächst Helium durch die Apparatur geleitet und anschließend mittels Vakuum wieder abgezogen. Die Messung war in Vorlaufphase (60s), Heizphase (20s) und Endphase (200s) unterteilt. Während der Heizphase wurde die auftretende Thermospannung inklusive Änderung(Fehler) notiert. Die Temperatur im Bezug zum Referenzbad wurde die Messung über von dem Programm "Labview" aufgezeichnet.

### 3 Auswertung

#### 3.1 Bestimmung von $\Delta T$

| T       | Zimmertemperatur<br>U[V] | Zimmertemperatur<br>$\Delta T$ [K] | $N_2$ /EtOH<br>U[V] | $N_2$ /EtOH<br>$\Delta T$ [K] | $N_2$<br>U[V] | $N_2$<br>$\Delta T$ [K] |
|---------|--------------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------|
| Graphit | 4                        | $3,22 \pm 0,01$                    | 4,1                 | $3,20 \pm 0,03$               | 4,6           | $3,16 \pm 0,05$         |
| Kupfer  | 1,2                      | $3,72 \pm 0,02$                    | 1                   | $3,68 \pm 0,01$               | 0,8           | $3,61 \pm 0,03$         |
| Zink    | 1,4                      | $3,61 \pm 0,02$                    |                     | $3,53 \pm 0,04$               | 0,8           | $3,53 \pm 0,09$         |

#### 3.2 Bestimmung von $f$

Die experimentell ermittelte molare Wärmekapazität bei konstantem Druck errechnet sich folgendermaßen:

$$c_{m,p} = \frac{UI\Delta t}{n\Delta T} \quad (1)$$

Mit

$\Delta t = 20$  s

$I = 750$  mA

**Tabelle 1:** Ergebnisse für  $c_P^{\text{Exp.}}$ .

| Probe   | Spannungsabfall [V] | $\Delta T$ [K] | Stoffmenge [mol] | $c_P^{\text{Exp.}}$ [ $\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$ ] |
|---------|---------------------|----------------|------------------|--|
| Graphit | 3,22                | 4              | 2,67             | 4,52   |
| Zink    | 3,72                | 1,2            | 0,900            | 51,7   |
| Kupfer  | 3,61                | 1,4            | 0,692            | 55,9   |

Der Korrekturfaktor  $f$  ergibt sich aus dem Verhältnis von  $c_P^{\text{Lit.}}$  und  $c_P^{\text{Exp.}}$

$$f = \frac{c_P^{\text{Lit.}}}{c_P^{\text{Exp.}}} \quad (2)$$

Da die Messung des Spannungsabfalls fehlerbehaftet ist, wurde eine Gaussische Fehler-

**Tabelle 2:** Ergebnisse für  $f$ .

| Probe   | $c_P^{\text{Lit.}}$ [ $\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$ ] | $f$   |
|---------|--|-------|
| Graphit | 8,517  | 1,88  |
| Zink    | 24,47  | 0,474 |
| Kupfer  | 25,330   | 0,453 |

fortpflanzung aufgestellt um  $\Delta c_P^{\text{Exp.}}$  und  $\Delta f$  zu bestimmen:

$$\Delta c_P^{\text{Exp.}} = \sqrt{\left(\frac{I \Delta t}{n \Delta T} \cdot \Delta U\right)^2} \quad (3)$$

$$\Delta c_P^{\text{Exp.}}(\text{Graphit bei ZT}) = \sqrt{\left(\frac{750 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 20 \text{ s}}{2,67 \text{ mol} \cdot 4 \text{ K}} \cdot 0,01 \text{ V}\right)^2} \quad (4)$$

$$= 0,014 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \quad (5)$$

**Tabelle 3:** Ergebnisse für  $\Delta c_P^{\text{Exp.}}$ .

| Probe   | Temperaturbad      | $\Delta U$ [V] | $\Delta c_P^{\text{Exp.}}$ [ $\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ ] |
|---------|--------------------|----------------|---|
| Graphit | Zimmertemperatur   | 0,01           | 0,014   |
|         | Stickstoff         | 0,01           | 0,012   |
|         | Stickstoff/Ethanol | 0,01           | 0,014   |
| Zink    | Zimmertemperatur   | 0,02           | 0,309   |
|         | Stickstoff         | 0,01           | 0,271   |
|         | Stickstoff/Ethanol | 0,01           | 0,217   |
| Kupfer  | Zimmertemperatur   | 0,02           | 0,278   |
|         | Stickstoff         | 0,01           | 0,208   |
|         | Stickstoff/Ethanol | 0,01           | 0,167   |

Die Ungenauigkeit des Korrekturfaktors  $\Delta f$  ergibt sich ebenfalls aus der Fehlerfortpflanzung:

$$\Delta f = \sqrt{\left(-\frac{c_P^{\text{Lit.}}}{(c_P^{\text{Exp.}})^2} \cdot \Delta c_P^{\text{Exp.}}\right)^2} \quad (6)$$

$$\Delta f(\text{Graphit}) = \sqrt{\left(-\frac{8,517 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}}{(4,52 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}})^2} \cdot 0,014 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right)^2} \quad (7)$$

$$= 0,006 \quad (8)$$

$$\Delta f(\text{Zink}) = 0,003 \quad (9)$$

$$\Delta f(\text{Kupfer}) = 0,003 \quad (10)$$

$$(11)$$

### 3.3 Berechnung $c_p(T)$

Origin- Auftragungen einfügen!

### 3.4 Berechnung von $c_V(T)$ nach Debye

Die für verschiedene  $\frac{T}{\Theta_D}$ -Verhältnisse theoretischen Wärmekapazitäten der Stoffe können mittels Debye folgendermaßen berechnet werden:

$$c_V(T) = 3R \cdot \left( 4D(x) - \frac{3x}{e^x - 1} \right) \quad (12)$$

mit

$$D(x) = \frac{3}{x^3} \cdot \int_0^x \frac{t^3}{e^t - 1} dt \quad (13)$$

und  $x = \frac{\Theta_D}{T}$ .

**Tabelle 4:** Was soll das sein ???

|         | $\frac{T}{\Theta_D} = \frac{1}{x}$ | D(x)  | $c_V(T)[J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}]$ |
|---------|------------------------------------|-------|---|
| Graphit | 0,15                               | 0,061 | -67                                     |
|         | 0,2                                | 0,12  | -59                                     |
|         | 0,25                               | 0,18  | -50                                     |
|         | 0,3                                | 0,24  | -42                                     |
| Cu/Zn   | 0,4                                | 0,35  | -27                                     |
|         | 0,5                                | 0,44  | -16                                     |
|         | 0,6                                | 0,51  | -6,5                                    |
|         | 0,7                                | 0,56  | 0,56                                    |

### 3.5 Berechnung der zugehörigen $\langle \Theta_D \rangle$ -Werte

Aus den linearen  $c_p(T)$ - werden Steigung und Schnittpunkt mit der Ordinate bestimmt, sodass nach dieser Gleichung für beliebige T die  $c_p(T)$ -Werte berechnet werden können.

$$c_p(T) = (m \cdot T + n \cdot K) \cdot \frac{J}{mol} \quad (14)$$

Für Festkörper gilt:  $c_V = c_p - R$ , so kann die Gleichung auch auf die oben aus den Debye-Temperaturen ermittelten theoretischen  $c_V(T)$ - Werte angewendet werden. Somit können die zu den  $c_V$ - Werten zugehörigen Temperaturwerte ermittelt werden:

**Tabelle 5:** Was soll das sein ???

|         | m        | n         |
|---------|----------|-----------|
| Graphit | 0,00512  | 3,02287   |
| Kupfer  | -0,17563 | 104,72748 |
| Zink    | -0,3042  | 149,2514  |

$$T = \frac{c_V(T) - n + R}{m} \quad (15)$$

Zu den so errechneten Temperaturen werden die zugehörigen Debye-Temperaturen ermittelt nach:

$$T \cdot x = \Theta_D \quad (16)$$

Letztendlich ergeben sich daraus folgende  $\Theta_D$ -Mittelwerte:

**Tabelle 6:** Was soll das sein ???

|         | $c_V$          | T [K]             | $\Theta_D$ [K]    | $\langle \Theta_D \rangle$ [K] |
|---------|----------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|
| Graphit | -66,6731373789 | -11988,5830622769 | -79923,8870818457 | -47712,459258447               |
|         | -58,7829970312 | -10447,5400256244 | -52237,700128122  |                                |
|         | -50,1033514056 | -8752,2967393775  | -35009,1869575101 |                                |
|         | -41,6626326627 | -7103,7188598931  | -23679,0628663104 |                                |
| Cu      | -27,0226353757 | 702,8164509235    | 1757,0411273088   | 1197,0695344183                |
|         | -15,5216922434 | 637,33251804      | 1274,6650360801   |                                |
|         | -6,5351968424  | 586,1653176703    | 976,9421961172    |                                |
|         | 0,5645533423   | 545,7408447171    | 779,6297781672    |                                |
| Zn      | -27,0226353757 | 552,1353493613    | 1380,3383734032   | 969,0459094781                 |
|         | -15,5216922434 | 514,3281727264    | 1028,6563454528   |                                |
|         | -6,5351968424  | 484,7867677266    | 807,977946211     |                                |
|         | 0,5645533423   | 461,4476809916    | 659,2109728452    |                                |

nicht sinnvoll bzw. warum??

### 3.6 Auftragsung $\frac{T}{\Theta_D}$

**Tabelle 7:** Was soll das sein ???

|         | $\Theta_D$ Literaturwert [K] | $c_V$ [J/mol K] aus 3.3 | zugehöriges $\frac{T}{\Theta_D}$ |
|---------|------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Graphit | 2500 <sup>3</sup>            | 37,5898116076           | 0,0001223935                     |
|         |                              | 32,0777220308           | $7,29722705371959 \cdot 10^{-5}$ |
|         |                              | 36,4452044067           | $9,32045822587417 \cdot 10^{-5}$ |
| Cu      | 345 <sup>4</sup>             | 429,5580091793          | 0,8927536232                     |
|         |                              | 625,2840375554          | 0,5089855072                     |
|         |                              | 509,9269270258          | 0,6773913043                     |
| Zn      | 308 <sup>5</sup>             | 464,4508607808          | 0,9967532468                     |
|         |                              | 794,7770616269          | 0,5727272727                     |

Github Test

## 4 Fehlerrechnung

## 5 Diskussion

**Tabelle 8:** Ergebnisse.

| Probe   | Temperaturbad        | $c_P^{\text{Exp.}}$ [ $\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$ ] | $f$               | $c_P^{\text{Th.}}$ [ $\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$ ] | $c_P^{\text{Lit.}}$ [ $\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$ ] |
|---------|----------------------|--|-------------------|---|--|
| Graphit | ZT                   | $4,52 \pm 0,014$   | $1,88 \pm 0,006$  |   |  |
|         | N <sub>2</sub>       | $7,27 \pm 0,012$   |                   |   |  |
|         | N <sub>2</sub> /EtOH | $8,26 \pm 0,014$   |                   |   |  |
| Zink    | ZT                   | $51,7 \pm 0,309$   | $0,450 \pm 0,003$ |   |  |
|         | N <sub>2</sub>       | $35,6 \pm 0,271$   |                   |   |  |
|         | N <sub>2</sub> /EtOH | $29,0 \pm 0,217$   |                   |   |  |
| Kupfer  | ZT                   | $55,9 \pm 0,278$   | $0,474 \pm 0,003$ |   |  |
|         | N <sub>2</sub>       | $43,3 \pm 0,208$   |                   |   |  |
|         | N <sub>2</sub> /EtOH | $34,7 \pm 0,167$   |                   |   |  |

Temperatur des Vergleichsbades nicht konstant komische Werte für T (10K zu viel) bei letzter Messung iwas schief gelaufen- konnte nicht ausgewertet werden

<sup>3</sup>Quelle: <http://phycomp.technion.ac.il/~david/thesis/node3.html>, aufgerufen am 06.11.16

<sup>4</sup>Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Debye-Temperatur>, aufgerufen am 06.11.16

<sup>5</sup>Quelle: <http://www.spektrum.de/lexikon/physik/debye-temperatur/2809>, aufgerufen am 06.11.16



## 5.1 Literaturverzeichnis

- 1 Eckhold, Götz: *Praktikum I zur Physikalischen Chemie*, Institut für Physikalische Chemie, Uni Göttingen, **2014**.
- 2 Eckhold, Götz: *Statistische Thermodynamik*, Institut für Physikalische Chemie, Uni Göttingen, **2012**.
- 3 Eckhold, Götz: *Chemisches Gleichgewicht*, Institut für Physikalische Chemie, Uni Göttingen, **2015**.