

## 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

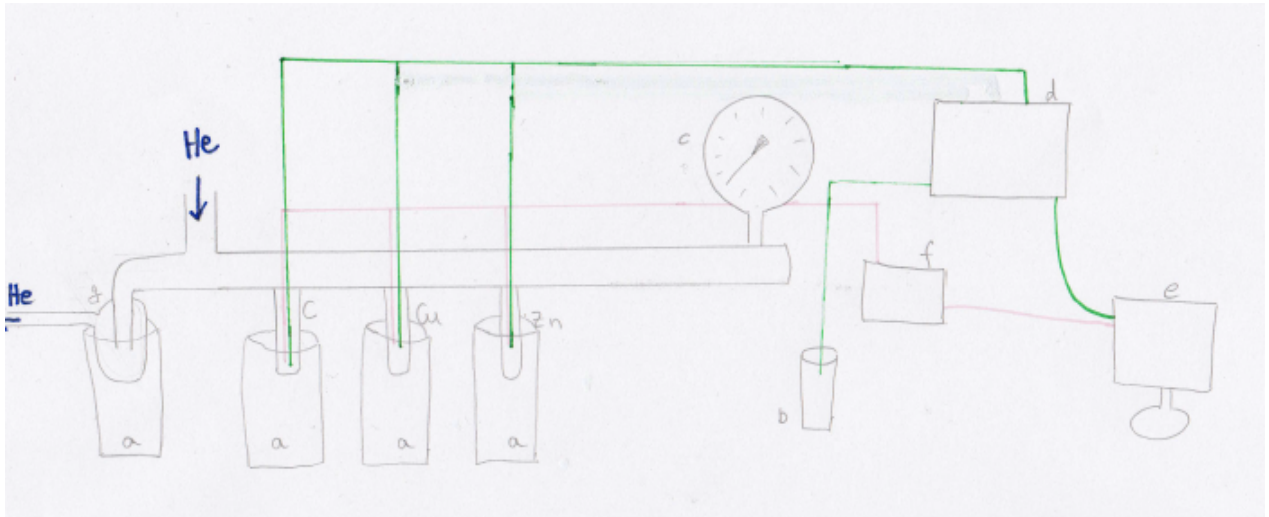
<sup>2</sup>Quelle: <http://www.chemie.de/lexikon/Kaliumchlorid.html>, aufgerufen am 31.12.16

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Experimentelles</b>	<b>3</b>
1.1	Experimenteller Aufbau . . . . .	3
1.2	Durchführung . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Auswertung</b>	<b>4</b>
2.1	Messergebnisse . . . . .	4
2.2	Bestimmung von $f$ . . . . .	4
2.3	Berechnung $c_p(T)$ . . . . .	6
2.4	Berechnung von $\Delta c_p(T)$ . . . . .	8
2.5	Berechnung von $c_V(T)$ nach Debye . . . . .	8
2.6	Berechnung der zugehörigen $\langle \Theta_D \rangle$ -Werte . . . . .	9
2.7	Auftragung $\frac{T}{\Theta_D}$ . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Diskussion</b>	<b>9</b>
3.1	Literaturverzeichnis . . . . .	11

# 1 Experimentelles

## 1.1 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) Gasauffang

## 1.2 Durchführung

Die Messung erfolgte für jeden Stoff bei Zimmertemperatur, in einem Stickstoffbad und in einem Stickstoff/Ethanolbad und einem Heizstrom von 750 mA. Damit überall die gleiche Temperatur herrscht, wurde zunächst Helium durch die Apparatur geleitet und anschließend mittels Vakuum wieder abgezogen. Die Messung war in Vorlaufphase (60 s), Heizphase (20 s) und Endphase (200 s) unterteilt. Während der Heizphase wurde die auftretende Thermospannung inklusive Änderung (Fehler) notiert. Die Temperatur wurde mit einem Eisbad als Referenz mit dem Programm "Labview" aufgezeichnet.

**Tabelle 1:** Messergebnisse des Versuchs.

T	Zimmertemperatur U[V]	Zimmertemperatur $\Delta T$ [K]	$N_2$ /EtOH U[V]	$N_2$ /EtOH $\Delta T$ [K]	$N_2$ U[V]	$N_2$ $\Delta T$ [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	$3,53 \pm 0,09$

## 2 Auswertung

### 2.1 Messergebnisse

### 2.2 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 2:** 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 3:** 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 4:** Ergebnisse für  $\Delta c_P^{\text{Exp.}}$ .

Probe	Temperaturbad	$\Delta U [\text{V}]$	$\Delta c_P^{\text{Exp.}} [\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}]$
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 Fehlerfortpflan-

zung:

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

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

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

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

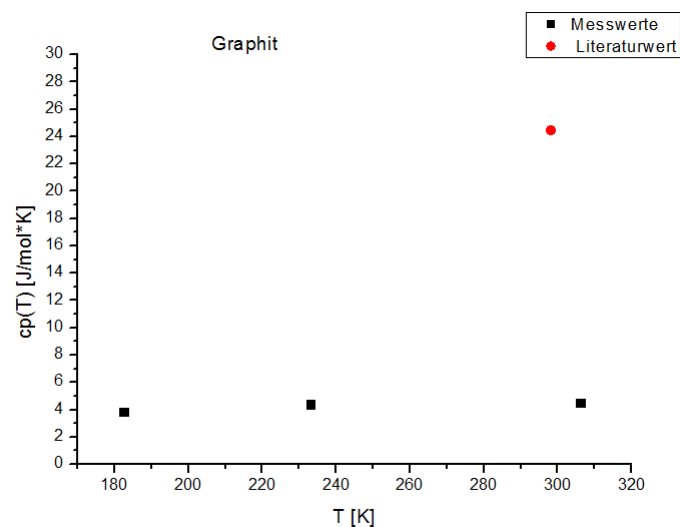
$$\Delta f(\text{Kupfer}) = 0,003 \quad (10)$$

$$(11)$$

## 2.3 Berechnung $c_p(T)$

Hierzu Text/Werte von Isaac noch!!

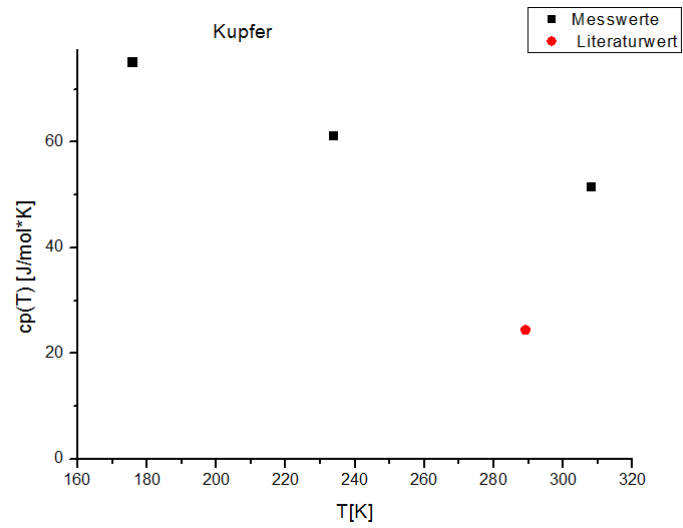
**Abbildung 2:**  $c_p(T)$  Graphit



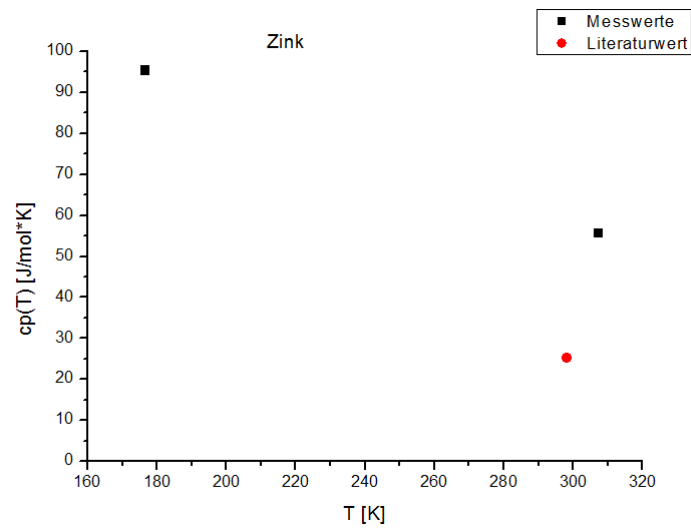
Aus den linearen  $c_p(T)$ - werden Steigung und Schnittpunkt mit der Ordinate bestimmt, sodass nach dieser Gleichung für beliebige T die  $c_p(T)$ -Werte berechnet werden können.

$$c_p(T) = (m \cdot T + n \cdot \text{K}) \cdot \frac{\text{J}}{\text{mol}} \quad (12)$$

**Abbildung 3:**  $c_p(T)$  Kupfer



**Abbildung 4:**  $c_p(T)$  Zink



**Tabelle 5:** Linearer Plot

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

## 2.4 Berechnung von $\Delta c_p(T)$

Isaacs Part

## 2.5 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:

$$c_V(T) = 3R \cdot \left( 4D(x) - \frac{3x}{e^x - 1} \right) \quad (13)$$

mit

$$D(x) = \frac{3}{x^3} \cdot \int_0^x \frac{t^3}{e^t - 1} dt \quad (14)$$

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

**Tabelle 6:** theoretische  $c_V$ -Werte nach Debye

	$\frac{T}{\Theta_D} = \frac{1}{x}$	D(x)	$c_V(T)[J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}]$
Graphit	0,15	0,0596	5,31
	0,2	0,118	9,20
	0,25	0,182	12,5
	0,3	0,244	15,2
Cu/Zn	0,4	0,354	18,6
	0,5	0,441	20,6
	0,6	0,510	21,8
	0,7	0,564	22,6



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

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:

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

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 7:**  $\langle \Theta_D \rangle$  für jeweiliges Material

	$c_V$ [J/mol K]	T [K]	$\Theta_D$ [ $10^2 \cdot K$ ]	$\langle \Theta_D \rangle$ [K]
Graphit	5,31	2071	138	$138 \cdot 10^2$
	9,20	28,3	141	
	12,5	34,8	139	
	15,1	40,0	133	
Cu	18,6	443	11,0	820
	20,6	432	8,63	
	21,8	425	7,08	
	22,6	420	6,00	
Zn	18,6	402	10,1	751
	20,6	396	7,91	
	21,8	392	6,53	
	22,6	389	5,56	

nicht sinnvoll bzw. warum??

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

JULE AUFTRAGUNG MACHEN und einfügen

## 3 Diskussion

**Tabelle 8:** Werte zur Auftragung von  $c_V$  nach 2.3 gegen  $\frac{T}{\Theta_D}$ 

	$\Theta_D$ Literaturwert [K]	$c_V$ [J/mol K] aus 3.3	zugehöriges $\frac{T}{\Theta_D}$
Graphit	2500950 <sup>3</sup>	37,6	0,000122
		32,1	0,0000730
		36,4	0,0000932
Cu	345 <sup>4</sup>	430	0,892
		625	0,510
		510	0,677
Zn	308 <sup>5</sup>	464	0,997
		795	0,572

**Tabelle 9:** 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	$4,52 \pm 0,014$	$1,88 \pm 0,006$		8,517
	N <sub>2</sub>	$7,27 \pm 0,012$			
	N <sub>2</sub> /EtOH	$8,26 \pm 0,014$			
Zink	ZT	$51,7 \pm 0,309$	$0,450 \pm 0,003$		24,47
	N <sub>2</sub>	$35,6 \pm 0,271$			
	N <sub>2</sub> /EtOH	$29,0 \pm 0,217$			
Kupfer	ZT	$55,9 \pm 0,278$	$0,474 \pm 0,003$		25,330
	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

### 3.1 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**.