

1 Einleitung

2 Vorbereitungsaufgaben

3 Theorie

4 Durchführung

5 Auswertung

Im Folgenden sind die während des Versuchs aufgenommenen Messwerte und die aus diesen bestimmten Größen tabellarisch aufgeführt. An entsprechender Stelle sind Erklärungen zu den Messwerten und Umrechnungen gegeben. Aus Gründen der Stringenz, wird hier mit der Auswertung der Kalorimetermessung begonnen, um die daraus gewonnene Wärmekapazität in der Auswertung, der Materialmessung verwenden zu können.

5.1 Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters

In Tabelle 1 sind die mit dem Thermoelement gemessenen Spannungen, die aus diesen, über (??), berechneten Temperaturen und die jeweiligen Massen des kalten, des heißen und des gemischten Wassers, für jeden der drei Durchgänge angegeben.

Messung Nr.	Massen [g]		
	Kalt m_c	Heiß m_h	Misch m_m
1	$304,5 \pm 0,1$	$302,9 \pm 0,1$	$607,4 \pm 0,1$
2	$301,9 \pm 0,1$	$307,0 \pm 0,1$	$608,9 \pm 0,1$
3	$303,6 \pm 0,1$	$306,0 \pm 0,1$	$609,6 \pm 0,1$
Messung Nr.	Spannungen [mV]		
	Kalt U_c	Heiß U_h	Misch U_m
1	$0,90 \pm 0,01$	$4,06 \pm 0,01$	$2,30 \pm 0,01$
2	$0,91 \pm 0,01$	$4,10 \pm 0,01$	$2,22 \pm 0,01$
3	$0,92 \pm 0,01$	$4,09 \pm 0,01$	$2,27 \pm 0,01$
Messung Nr.	Temperaturen [°C]		
	Kalt ϑ_c	Heiß ϑ_h	Misch ϑ_m
1	$21,38 \pm 0,25$	$96,49 \pm 0,24$	$54,76 \pm 0,25$
2	$21,64 \pm 0,24$	$97,52 \pm 0,24$	$52,76 \pm 0,24$
3	$21,88 \pm 0,25$	$97,23 \pm 0,24$	$54,00 \pm 0,24$

Tabelle 1: Messwerte der Kalorimetermessung

Unter Verwendung der Messwerte aus Tabelle 1 erhält man durch (??) für jeden Durchgang einen Wert für die Wärmekapazität des Kalorimeters, welche in ?? zu finden sind.

Messung Nr.	Wärmekapazität $c_g m_g$ [JK ⁻¹]
1	310 ± 26
2	583 ± 30
3	453 ± 28

Tabelle 2: Errechnete Wärmekapazitäten des Kalorimeters

Für die Auswertung in Unterabschnitt 5.2 wird das Mittel dieser Werte $\langle c_g m_g \rangle = (450 \pm 60) \text{ JK}^{-1}$ verwendet. Dabei ist der angegeben Fehler die Standardabweichung des Mittelwerts und nicht aus der Fehlerfortpflanzung berechnet.

5.2 Bestimmung der Wärmekapazität der Metalle

Die Messwerte der Messungen für die Berechnung der Wärmekapazitäten von Kupfer (Cu) und Aluminium (Al) sind in Tabelle 3 und 4 zu finden. Dabei ist die jeweilig angegebene Temperatur ϑ_c , die des Wassers im Kalorimeter, ϑ_h , die des entsprechenden Metallzylinders und ϑ_m die des Wassers nach dem eintauchen des Zylinders.

Messung Nr.	Spannungen [mV]		
	Kalt U_c	Heiß U_h	Misch U_m
1	$0,78 \pm 0,01$	$4,06 \pm 0,01$	$0,95 \pm 0,01$
2	$0,95 \pm 0,01$	$4,08 \pm 0,01$	$1,15 \pm 0,01$
3	$0,93 \pm 0,01$	$4,08 \pm 0,01$	$1,10 \pm 0,01$

Messung Nr.	Temperaturen [°C]		
	Kalt ϑ_c	Heiß ϑ_h	Misch ϑ_m
1	$18,61 \pm 0,25$	$97,65 \pm 0,24$	$22,67 \pm 0,25$
2	$22,82 \pm 0,24$	$97,85 \pm 0,24$	$27,62 \pm 0,24$
3	$22,33 \pm 0,25$	$97,91 \pm 0,24$	$26,38 \pm 0,25$

Tabelle 3: Messwerte der Messung mit Kupfer

Da das Wasser im Kalorimeter einmal ausgewechselt wurde, wird im weiteren der Mittelwert der verwendeten Volumina $\langle V_{\text{H}_2\text{O}} \rangle = (574,35 \pm 0,07) \text{ cm}^3$ verwendet. Durch wiegen wurden die Massen des Kupfer- und des Aluminiumzylinders zu $m_{\text{Cu}} = (378,3 \pm 0,1) \text{ g}$ und $m_{\text{Al}} = (254,6 \pm 0,1) \text{ g}$ bestimmt.

Aus den Werten in Tabelle 3 und 4, der Wärmekapazität des Kalorimeters $\langle c_g m_g \rangle = (450 \pm 60) \text{ JK}^{-1}$ aus Unterabschnitt 5.1, den Massen der Metallzylinder und der spezifischen Wärmekapazität von Wasser $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4,18 \text{ Jg}^{-1}\text{K}^{-1}$ **V201** lassen sich nun mit Hilfe von (??) die spezifischen Wärmekapazitäten der beiden Metalle bestimmen. In Tabelle 5

Messung Nr.	Spannungen [mV]		
	Kalt U_c	Heiß U_h	Misch U_m
1	$0,85 \pm 0,01$	$4,06 \pm 0,01$	$1,05 \pm 0,01$
2	$0,89 \pm 0,01$	$4,09 \pm 0,01$	$0,93 \pm 0,01$
3	$0,95 \pm 0,01$	$4,09 \pm 0,01$	$1,06 \pm 0,01$

Messung Nr.	Temperaturen [°C]		
	Kalt ϑ_c	Heiß ϑ_h	Misch ϑ_m
1	$20,37 \pm 0,25$	$97,51 \pm 0,24$	$25,32 \pm 0,25$
2	$21,39 \pm 0,24$	$98,31 \pm 0,24$	$22,31 \pm 0,24$
3	$22,86 \pm 0,25$	$98,16 \pm 0,24$	$25,54 \pm 0,25$

Tabelle 4: Messwerte der Messung mit Kupfer

sind sowohl die spezifische Wärmekapazität bezogen auf ein Gramm als auch mit Bezug auf ein Mol angegeben, wobei zur Umrechnung die molaren Massen aus Tabelle 6 verwendet wurden.

Messung Nr.	spezifische Wärmekapazität $c_{\text{Cu}} [\text{Jg}^{-1}\text{K}^{-1}]$	spezifische Wärmekapazität $c_{\text{Al}} [\text{Jg}^{-1}\text{K}^{-1}]$
1	$0,649 \pm 0,060$	$1,704 \pm 0,131$
2	$0,821 \pm 0,063$	$0,302 \pm 0,114$
3	$0,679 \pm 0,062$	$0,917 \pm 0,123$

Messung Nr.	spezifische Wärmekapazität $c_{\text{Cu}} [\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}]$	spezifische Wärmekapazität $c_{\text{Al}} [\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}]$
1	$41,3 \pm 3,8$	$46,0 \pm 3,5$
2	$52,1 \pm 4,0$	$8,2 \pm 3,1$
3	$43,2 \pm 4,0$	$24,8 \pm 3,4$

Tabelle 5: Spezifische Wärmekapazitäten von Kupfer und Aluminium

Durch (??) erhält man, aus den Wärmekapazitäten bei konstantem Druck in Tabelle 5, die gesuchten Wärmekapazitäten bei konstantem Volumen. Die für diese Umrechnung benötigten Konstanten des Kupfers und des Aluminium sind in Tabelle 6 zu finden. Die Molvolumen der Metalle wurden dabei aus ihrer molaren Masse und der jeweiligen Dichte bestimmt. Als Temperatur wurden die Mischtemperaturen ϑ_m aus Tabelle 3 und 4 verwendet.

Die daraus erhaltenen Werte sowie deren Abweichung von dem, durch das Dulong-Petitsche Gesetz vorhergesagte Wert $C_V = 3R$, wobei $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ **SciPy** ist, sind in Tabelle 7 zu finden.

^①linearer Ausdehnungskoeffizient

Material- konstanten	Kupfer (Cu)	Aluminium (Al)
Dichte $\rho [\text{gcm}^{-3}]$	8,96	2,70
Molmassen $M [\text{g mol}^{-1}]$	63,5	27,0
Molvolumen $V_0 [\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}]$	7,09	10,0
Ausdehnungskoeff. ^① $\alpha [10^{-6} \text{K}^{-1}]$	16,8	23,5
Kompressionsmodul $\kappa [10^9 \text{Nm}^{-2}]$	136	75

Tabelle 6: Materialkonstanten von Kupfer und Aluminium

Messung Nr.	spezifische Wärmekapazität $C_{V,\text{Cu}} [\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}]$	Relative Abweichung $\frac{C_{V,\text{Cu}} - 3R}{3R}$
1	$35,7 \pm 3,7$	0,43
2	$45,3 \pm 4,0$	0,82
3	$36,7 \pm 3,9$	0,47

Messung Nr.	spezifische Wärmekapazität $C_{V,\text{Al}} [\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}]$	Relative Abweichung $\frac{3R - C_{V,\text{Al}}}{3R}$
1	$46,0 \pm 3,5$	0,47
2	$-0,2 \pm 3,0$	1,01
3	$15,3 \pm 3,3$	0,39

Tabelle 7: Spezifische Wärmekapazitäten im Vergleich zu $3R$

5.3 Fehlerrechnung

6 Diskussion