Julian Bergmann Matr.Nr: 1012877 Gruppe 5

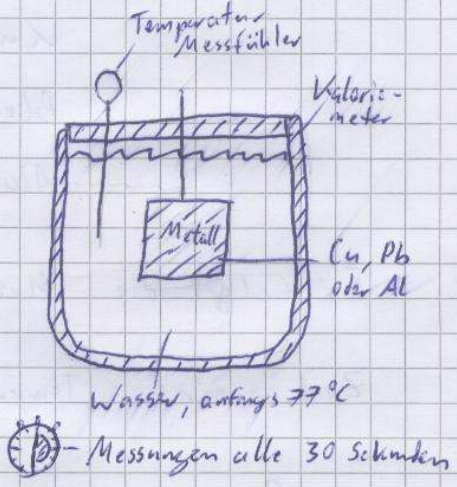
Gruppenprüfer: P. Scholz

Versuch 5A

Es soll der Wasserwert eines verwendeten Kalorimeters und die spezifische Wärmekapazität von den drei Metallen Cu, Pb und Al bestimmt werden.

Versuchsaufbau:

Zuerst wird Wasser auf ca. 75°C erhitzt und davon in etwa 150g - 200g in ein Kalorimeter gegeben. Vorher befindet sich das Kalorimeter und die 3 Metalle auf Zimmertemperatur. Die Massen des Kalorimeters und der Metalle werden auch im Vorfeld bestimmt. Nun wird alle 30 Sekunden die Temperatur gemessen, nach 3 Minuten ein Metallstück eingeführt, dieses nach weiteren 3 Minuten durch ein anderes ersetzt bis alle Metallstücke einmal erfasst wurden und dabei jeweils beim Wechsel das Gewicht des Kalorimeters + Wasser ermittelt.



Mit den so ermittelten Werten kann mit der Formel

$$(m_1 c + W)(t_1 - t_m) = m_2 c (t_m - t_2) \Rightarrow W = m_2 c \frac{t_m - t_2}{t_1 - t_m} - m_1 c$$

mit: m_1: Masse des anfangs vorhandenen Wassers (0kg)

m_2: Masse des eingeführten, erhitzten Wassers (250g)

t_1: Temperatur d. Kalorimeters (296,45K)

t_2: Temperatur d. eingeführten Wassers (350,15K)

t_m: Mischtemperatur v. Kalorimeters & Wasser (ca. 347,45K)

W: Wasserwert ; (Fehler je ±1g bzw ±0,1K)

Der Wasserwert des Kalorimeters bestimmt werden.

Anschließend wird mit der leicht veränderten Formel

$$(m_1 c + W)(t_m - t_1) = m_2 c_x (t_2 - t_m) \Rightarrow c_x = \frac{m_1 c + W}{m_2} \cdot \frac{(t_m - t_1)}{(t_2 - t_m)}$$

mit c_x: spezifische Wärmekapazität

die jeweilige spez. fische Wärmekapazität der 3 Metalle bestimmt werden.

Durchführung

Unsere gemessenen Werte betragen folgendes:

Raumtemperatur: 23,3 °C ≙ 296,45 K (Fehler: ± 0,1 K)

Wassertemperatur: 350,15 K (± 0,1 K)

Gewichte: Kalorimeter: 1,087 kg (± 0,001 kg)

Kupfergewicht: 0,207 kg (± 0,001 kg)

Bleigewicht: 0,259 kg (± 0,001 kg)

Aluminiumgewicht: 1,065 kg (± 0,001 kg)

Es folgt die Messung im Intervall von 30 Sekunden

Zeit in min.	Temperatur in °C	Masse Kalorimeter + Wasser in g	Gegenstand
0	74,5	1338	/
0,5	74,5		/
1	73,9		/
1,5	~~73,5~~		/
2	73,2		/
2,5	73,0		/
3	72,8	1336	/
3,5	72,6		/
4	70,4		Cu
4,5	68,1		Cu
5	68,0		Cu
5,5	67,9		Cu
6	67,7		Cu
6,5	67,6		Cu
7	67,5	1331	/
7,5	66,4		Al
8	65,0		Al
8,5	64,9		Al
9	64,7		Al
9,5	64,7		Al
10	64,6		Al
10,5	64,5	1330	/
11	63,0		Pb

11,5	62,9		Pb
12	62,8		Pb
12,5	62,7		Pb
13	62,7		Pb
13,5	62,6		Pb
14	62,5	1327	/

Dabei gilt je: Fehler: Zeit: ±1s; Temperatur: ±0,1°C

Gewicht: ±1g

Messwerte + Zusammenfassung:

$m_{1,w} = 0g$; $m_{2,w} = 251g \triangleq 0,251kg$; $c_w = 4185 \frac{J}{kgK}$

$t_{1,w} = 23,3°C \triangleq 296,45K$; $t_{2,w} = 77°C \triangleq 350,15K$

$t_{m,w} = 74,3°C \triangleq 347,45K$

$m_{1,Cu} = 251g \triangleq 0,251kg$; $m_{2,Cu} = 0,207kg$

$t_{1,Cu} = 345,25K$; $t_{2,Cu} = 296,45K$; $t_{m,Cu} = 341,35K$

$m_{1,Al} = 0,246kg$; $m_{2,Al} = 0,065kg$

$t_{1,Al} = 340,45K$; $t_{2,Al} = 296,45K$; $t_{m,Al} = 338,25K$

$m_{1,Pb} = 0,245kg$; $m_{2,Pb} = 0,259kg$

$t_{1,Pb} = 337,25K$; $t_{2,Pb} = 296,45K$; $t_{m,Pb} = 336,25K$

Einsetzen in Formeln:

$$W = m_{2,w} \cdot c_w \cdot \frac{t_{2,w} - t_{m,w}}{t_{m,w} - t_{1,w}} - m_{1,w} \cdot c_w = 0,251kg \cdot 4185 \frac{J}{kgK} \cdot \frac{350,15K - 347,45K}{347,45K - 296,45K}$$

$$= 55,61 \frac{J}{K}$$

$$c_{Cu} = \frac{m_{1,Cu} \cdot c_w + W}{m_{2,Cu}} \cdot \frac{t_{m,Cu} - t_{1,Cu}}{t_{2,Cu} - t_{m,Cu}} = \frac{0,251kg \cdot 4185 \frac{J}{kgK} + 55,61 \frac{J}{K}}{0,207kg} \cdot \frac{341,35K - 345,25K}{296,45K - 341,35K}$$

$$= 464,1 \frac{J}{kgK}$$

$$c_{Al} = \frac{m_{1,Al} \cdot c_w + W}{m_{2,Al}} \cdot \frac{t_{m,Al} - t_{1,Al}}{t_{2,Al} - t_{m,Al}} = \frac{0,246kg \cdot 4185 \frac{J}{kgK} + 55,61 \frac{J}{K}}{0,065kg} \cdot \frac{338,25K - 340,45K}{296,45K - 338,25K}$$

$$= 878,6 \frac{J}{kgK}$$

$$c_{Pb} = \frac{m_{1,Pb} \cdot c_w + W}{m_{2,Pb}} \cdot \frac{t_{m,Pb} - t_{1,Pb}}{t_{2,Pb} - t_{m,Pb}} = \frac{0,245kg \cdot 4185 \frac{J}{kgK} + 55,61 \frac{J}{K}}{0,259kg} \cdot \frac{336,25K - 337,25K}{296,45K - 336,25K}$$

$$= 136,3 \frac{J}{kgK}$$

$$c_{mol,Cu} = c_{Cu} \cdot m_{mol,Cu} = 464,1 \frac{J}{kgK} \cdot 63,55 \frac{g}{mol} = 29,49 \frac{J}{molK}$$

$$c_{mol,Al} = c_{Al} \cdot m_{mol,Al} = 878,6 \frac{J}{kgK} \cdot 27 \frac{g}{mol} = 23,72 \frac{J}{molK}$$

$$c_{mol,Pb} = c_{Pb} \cdot m_{mol,Pb} = 136{,}3 \frac{J}{kg\,K} \cdot 207{,}2 \frac{g}{mol} = 28{,}24 \frac{J}{mol\,K}$$

Fehlerberechnung:

Da $t_{1,w}, t_{2,w}, t_{2,Cu}, t_{2,Al}, t_{2,Pb}$ per Thermometer gemessen ergibt sich hier für $\Delta t_x = 0{,}1°C \triangleq 0{,}1K$.

Da $t_{m,w}, t_{1,Cu}, t_{m,Cu}, t_{1,Al}, t_{m,Al}, t_{1,Pb}, t_{m,Pb}$ an graphischer Darstellung gefittet, ergibt sich als Ablesefehler hier $\Delta t_x = 0{,}2°C \triangleq 0{,}2K$.

$$\frac{\Delta c_{Cu}}{c_{Cu}} = \frac{\Delta t_{m,Cu} + \Delta t_{1,Cu}}{t_{m,Cu} - t_{1,Cu}} + \frac{\Delta t_{2,Cu} + \Delta t_{m,Cu}}{t_{2,Cu} - t_{m,Cu}} = \frac{\pm 0{,}4K}{-3{,}9K} + \frac{\pm 0{,}3K}{-44{,}9K}$$

$$= \pm 0{,}11 \Rightarrow \Delta c_{Cu} = \pm 50{,}7 \frac{J}{kg\,K} \Rightarrow \Delta c_{Cu,mol} = \pm 3{,}22 \frac{J}{mol\,K}$$

$$\frac{\Delta c_{Al}}{c_{Al}} = \frac{\Delta t_{m,Al} + \Delta t_{1,Al}}{t_{m,Al} - t_{1,Al}} + \frac{\Delta t_{2,Al} + \Delta t_{m,Al}}{t_{2,Al} - t_{m,Al}} = \frac{\pm 0{,}4K}{-2{,}2K} + \frac{\pm 0{,}3K}{-41{,}8K}$$

$$= \pm 0{,}19 \Rightarrow \Delta c_{Al} = \pm 166{,}1 \frac{J}{kg\,K} \Rightarrow \Delta c_{Al,mol} = \pm 4{,}48 \frac{J}{mol\,K}$$

$$\frac{\Delta c_{Pb}}{c_{Pb}} = \frac{\Delta t_{m,Pb} + \Delta t_{1,Pb}}{t_{m,Pb} - t_{1,Pb}} + \frac{\Delta t_{2,Pb} + \Delta t_{m,Pb}}{t_{2,Pb} - t_{m,Pb}} = \frac{\pm 0{,}4K}{-7K} + \frac{\pm 0{,}3K}{-34{,}8K}$$

$$= \pm 0{,}41 \Rightarrow \Delta c_{Pb} = 55{,}5 \frac{J}{kg\,K} \Rightarrow \Delta_{Pb,mol} = \pm 11{,}5 \frac{J}{mol\,K}$$

Auswertung

	Werte	Fehler	Literaturwerte
c_{Cu}	$464{,}1 \frac{J}{kg\,K}$	$\pm 50{,}7 \frac{J}{kg\,K}$	$385 \frac{J}{kg\,K}$
c_{Al}	$878{,}1 \frac{J}{kg\,K}$	$\pm 166{,}1 \frac{J}{kg\,K}$	$897 \frac{J}{kg\,K}$
c_{Pb}	$136{,}3 \frac{J}{kg\,K}$	$\pm 55{,}5 \frac{J}{kg\,K}$	$129 \frac{J}{kg\,K}$
$c_{Cu,mol}$	$29{,}49 \frac{J}{mol\,K}$	$\pm 3{,}22 \frac{J}{mol\,K}$	$24{,}47 \frac{J}{mol\,K}$
$c_{Al,mol}$	$23{,}73 \frac{J}{mol\,K}$	$\pm 4{,}48 \frac{J}{mol\,K}$	$24{,}21 \frac{J}{mol\,K}$
$c_{Pb,mol}$	$28{,}24 \frac{J}{mol\,K}$	$\pm 11{,}5 \frac{J}{mol\,K}$	$26{,}73 \frac{J}{mol\,K}$
W	$55{,}61 \frac{J}{K}$		

T in °C
60
62
64
66
68
70
72
74
76
78
t in min
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
$t_{m,Cu}$
$t_{n,Cu}$
Kupfer
$t_{m,Al}$
$t_{n,Al}$
Aluminium
$t_{m,Pb}$
$t_{n,Pb}$
Blei

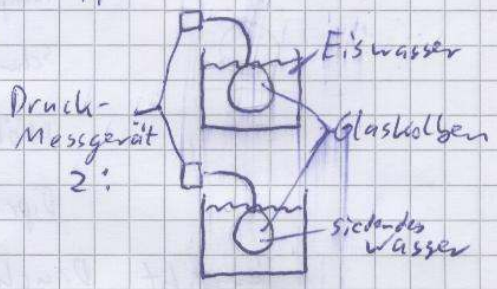
Julian Bergmann Matr. Nr: 1012877 Gruppe 5

Versuch 5B

Es soll ein Gasthermometer geeicht werden, indem der Ausdehnungskoeffizient ermittelt werden muss.

Versuchsaufbau:

Zunächst wird der aktuelle Druck ermittelt, um mit diesem und einer Umrechnungstabelle den aktuellen Siedepunkt (Temperatur) des Wassers abzulesen.
Dann wird das Volumen eines Glaskolben und der bis zu einem Messgerät des Druckes gemessen bzw. geschätzt. Außerdem wird die Zimmertemperatur gemessen.



Nun wird der luftdicht-abgeschlossene Kolben mit dem Druckmessgerät in Eiswasser getaucht und gewartet, bis der Druck relativ konstant bleibt. Der Druck wird notiert.
Nun wird das Wasser bis zum Sieden erhitzt und wieder ein möglichst konstanter Druck notiert.
Damit lässt sich dann mittels Formel der α-Wert bestimmen:

$$\alpha = \frac{p_2 - p_1}{p_1 \cdot t} + \frac{p_2}{p_1}\left(\gamma + \frac{v}{V}\frac{1}{T_z}\right)$$

mit p_2: Druck bei siedendem Wasser
p_1: Druck bei Eiswasser
t: Siedetemperatur Wasser
γ: therm. Ausdehnungskoeff. d. Glases
v: Volumen schädl. Raum d. Kapillare
V: Volumen Glaskolben
T_z: Raumtemperatur.

Durchführung:

Druckmessung:

Säulenhöhe: 729,8 mm Hg ($\pm$ 1 mm Hg)

Kuppenhöhe: 730,9 mm Hg ($\pm$ 1 mm Hg)

Temperatur Zimmer: 22,5°C ($\pm$ 1°C)

Breitengrad: 50° 35' ($\pm$ 0')

ergibt Korrekturwerte:

Temperaturkorrektur: − 3,02 mm Hg

Schwerekorrektur: + 0,3 mm Hg

Höhenkorrektur: − 0,1 mm Hg

Dipress. Kuppenh. Korrektur + 0,6 mm Hg

ergibt Druck:

$$p_n = 730{,}9\,\text{mm Hg} - 3{,}02\,\text{mm Hg} + 0{,}3\,\text{mm Hg} - 0{,}1\,\text{mm Hg} + 0{,}6\,\text{mm Hg}$$
$$= 728{,}12\,\text{mm Hg}$$

Dies ergibt nach Tabelle einen Wassersiedepunkt von 98,87°C (Der Fehler beträgt hier ±0,01°C).

Die Druckmessung bei Eiswasser ergibt $p_n = 911$ mbar ($\pm$ 1 mbar),
bei siedendem Wasser $p_z = 1221$ mbar ($\pm$ 1 mbar)

Dadurch ergibt sich:

$$\alpha = \frac{p_z - p_n}{p_n \cdot t} + \frac{p_z}{p_n}\left(\gamma + \frac{\nu}{V T_z}\right)$$
$$= \frac{1221\,\text{mbar} - 911\,\text{mbar}}{911\,\text{mbar} \cdot 99{,}19\,\text{K}} + \frac{1221\,\text{mbar}}{911\,\text{mbar}}\left(2{,}45 \cdot 10^{-5}\,\frac{1}{\text{K}} + \frac{1602{,}5\pi\,\text{mm}^3}{250000\,\text{mm}^3 \cdot 295{,}65\,\text{K}}\right)$$
$$= 3{,}420 \cdot 10^{-3}\,\frac{1}{\text{K}} + 0{,}129 \cdot 10^{-3}\,\frac{1}{\text{K}} = 3{,}549 \cdot 10^{-3}\,\frac{1}{\text{K}}$$

mit $\nu = 1602{,}5\pi\,\text{mm}^3$ und $V = 250000\,\text{mm}^3$,

$t = 99{,}19\,\text{K} \triangleq 372{,}02\,\text{K}$, $T_z = 22{,}5°\text{C} \triangleq 295{,}65\,\text{K}$

und $\gamma = 2{,}45 \cdot 10^{-5}\,\frac{1}{\text{K}}$

Fehlerberechnung:

$$\Delta\alpha = \sqrt{\left(\frac{\partial\alpha}{\partial p_n}\Delta p\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial p_z}\Delta p\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha}{\partial t}\Delta t\right)^2}$$

$$\frac{d\alpha}{dp_1} = -\frac{p_2}{p_1^2 t} - \frac{p_2 \gamma}{p_1^2} = \frac{-1221\,\text{mbar}}{(911\,\text{mbar})^2 \cdot 372{,}02\,\text{K}} - \frac{1221\,\text{mbar} \cdot 2{,}45 \cdot 10^{-5}\,\frac{1}{\text{K}}}{(911\,\text{mbar})^2}$$

$$= -3{,}99 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{\text{K mbar}}$$

$$\frac{d\alpha}{dp_2} = \frac{1}{p_1 t} + \frac{\gamma}{p_1} = \frac{1}{911\,\text{mbar} \cdot 372{,}02\,\text{K}} + \frac{2{,}45 \cdot 10^{-5}\,\frac{1}{\text{K}}}{911\,\text{mbar}}$$

$$= 10{,}20 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{\text{K mbar}}$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = -\frac{p_2 - p_1}{p_1 t^2} = -\frac{1221\,\text{mbar} - 911\,\text{mbar}}{911\,\text{mbar} \cdot (372{,}02\,\text{K})^2} = -34{,}57 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{\text{K}^2}$$

$$\Delta\alpha = \sqrt{\left(\frac{d\alpha}{dp_1}\Delta p_1\right)^2 + \left(\frac{d\alpha}{dp_2}\Delta p_2\right)^2 + \left(\frac{d\alpha}{dt}\Delta t\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(-3{,}99 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{\text{mbar K}} \cdot 1\,\text{mbar}\right)^2 + \left(10{,}20 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{\text{mbar K}} \cdot 1\,\text{mbar}\right)^2 + \left(-34{,}57 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{\text{K}^2} \cdot 0{,}1\,\text{K}\right)^2}$$

$$= 10{,}98 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{\text{K}}$$

Auswertung

Errechnete Werte ± Fehler:

$$\alpha = 3{,}5496 \cdot 10^{-3}\,\frac{1}{\text{K}} \pm 10{,}98 \cdot 10^{-6}\,\frac{1}{\text{K}}$$

Literaturwert

$$3{,}66 \cdot 10^{-3}\,\frac{1}{\text{K}}$$