

Wärmekapazität 4.4 Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters und der Änderung  
der inneren Energie equation. 2.4

**Versuch 6:**  
**Verbrennungswärme einer festen  
organischen Substanz**

---

Durchführende:	Isaac Maksso, Julia Stachowiak
Assistent:	Jannis Neugebohren
Versuchsdatum:	08.12.2016
Datum der ersten Abgabe:	15.12.2016

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Experimentelles</b>	<b>3</b>
1.1 Versuchsaufbau . . . . .	3
1.2 Durchführung . . . . .	3
<b>2 Auswertung</b>	<b>4</b>
2.1 Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters und der Änderung der inneren Energie . . . . .	4
2.2 Bestimmung der Verbrennungswärme $\Delta H_{C,m}$ von Naphtalin . . . . .	7
2.3 Fehlerrechnung . . . . .	8
<b>3 Fehlerdiskussion</b>	<b>8</b>
<b>4 Anhang</b>	<b>9</b>
<b>5 Literaturverzeichnis</b>	<b>9</b>

## 1 Experimentelles

### 1.1 Versuchsaufbau

### 1.2 Durchführung

Die Verbrennungswärme von Naphtalin sollte mittels eines Kalorimeters mit Berthelot-Mahlerscher Bombe ermittelt werden.

Zur Kalibrierung des Thermoelements wurden ca. 0,6 g mit einem vorher gedrehten und genau gewogenen Nickeldraht in eine Tablette gepresst. An einer Stelle wurde vorher eine Spur des doppelt gewickelten Drahtes durchtrennt und so gelegt, dass sich diese Zündungsstelle innerhalb der Tablette befand. Die Tablette wurde am Nickeldraht an zwei Elektroden befestigt und die Bombe angeschraubt. Anschließend wurde diese mit 25 atm O<sub>2</sub> befüllt und in das Wasserbad gestellt. Die Temperaturmessung erfolgte über einen Pt1000- Temperaturmesskopf (Verstärkung mit einem Pt1000-Vorverstärker um 20mV/K). Nach ca. 3 Minuten Vorperiode wurde die Probe gezündet und ca. 5 Minuten lang weitergemessen(Nachperiode). Die Temperaturaufzeichnung erfolgte mittels LabView.

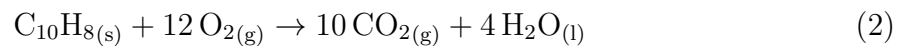
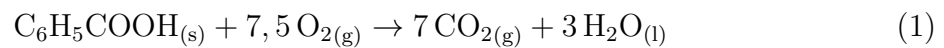
Der Vorgang wurde mit Bezoessäure(zur Ermittlung der Wärmekapazität des Thermoelements) und Naphtalin je drei mal durchgeführt.

**Tabelle 1:** molare Standardbildungsenthalpien sowie Verbrennungsenthalpien für Benzoesäure und Naphtalin

	$\Delta H_{f,m}$ [kJ·mol <sup>-1</sup> ]	$\Delta H_{C,m}$ [kJ·mol <sup>-1</sup> ]
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> COOH	-384,8 <sup>2</sup>	-5156
C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	78,5 <sup>1</sup>	3227
O <sub>2</sub> (g)	0	
CO <sub>2</sub> g	-393,51 <sup>1</sup>	
H <sub>2</sub> O <sub>l</sub>	-285.830 <sup>1</sup>	

## 2 Auswertung

Für die Verbrennung von Naphtalin (2) und Benzoesäure (1) ergeben sich folgende Reaktionsgleichungen:



Nach dem Satz von Hess kann die Reaktionsenthalpie aus der Differenz der Standardbildungsenthalpien  $\Delta H_f^0$  zwischen Produkten und Edukten berechnet werden:

$$\Delta H_C = \sum_i \nu_i \Delta H_{f,i}(\text{Produkte}) - \sum_i \nu_i \Delta H_{f,i}(\text{Edukte}) \quad (3)$$

Die Literaturwerte für die molaren Standardbildungsenthalpien und die nach Gleichung (3) berechneten Verbrennungsenthalpien  $\Delta H_{C,m}$  für Benzoesäure und Naphtalin sind in Tabelle(2) aufgelistet.

### 2.1 Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters und der Änderung der inneren Energie

Die Wärmekapazität bei konstantem Volumen ist folgendermaßen definiert:

$$C_v = \left( \frac{\delta Q}{\partial T} \right)_v = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_v \quad (4)$$

Integration liefert einen Differenzenquotienten. Die aus den Auftragungen ermittelten Temperaturdifferenzen sind in Tabelle (2.1) dargestellt.

**Tabelle 2:** Aus den Auftragungen ermittelte Temperaturdifferenzen.

Messung	Benzoessäure			Naphtalin		
	1	2	3	1	2	3
$\Delta T$ /K	1,21	1,17	1,15	2,31	1,88	2,05
$m$ /g	0,6460	0,6044	0,6208	0,8229	0,6166	0,7072
$n$ /mmol	5,288	4,949	5,084	6,420	4,811	5,518

Das totale Differential der inneren Energie lautet folgendermaßen:

$$dU = TdS - pdV \quad (5)$$

Bei konstantem Volumen fällt der letzte Term weg und folgender Zusammenhang mit der Enthalpie besteht:

$$dH = TdS + Vdp = dU + Vdp = \Delta U + RT_0 \sum_i \nu_{i,gas} \quad (6)$$

### Wie man auf letzten Term der Gleichung kommt

Für Benzoesäure kann die Wärmekapazität nach Gleichung (

**Tabelle 3:** Caption Werte für Benzoesäure

Messung	1	2	3
$T_0$ /K	294,584	295,909	301,017
$\Delta U$ /kJ·mol <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	-3225,8	-3225,8	-3225,7
$c_{v,m}$ /kJ·mol <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	-14,102	-13,645	-14,259

---

## 2.2 Bestimmung der Verbrennungswärme $\Delta H_{C,m}$ von Naphtalin

Mit der bestimmten molaren Wärmekapazität des Thermoelements Kann die Verbrennungswärme von Naphtalin berechnet werden. Einsetzen in Gleichung (6) mit  $\sum_i \nu_i = -2$  liefert die Verbrennungsenthalpie  $\Delta H_C$ .

$$\Delta U = \Delta Q = C_{v,m} \cdot \Delta T \quad (7)$$

Zur Berechnung wurde der Wert der 3. Messung für  $C_{v,m}$  verwendet, da die Anfangstemperaturen der Naphtalin-Messungen der Anfangstemperatur der 3. Messung am nächsten kommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle (4) zu sehen.

**Tabelle 4:** CAPTION Endergebnisse

Messung	1	2	3
$T_0$ /K	298,14	300,2	300,9
$\Delta U$ /J·mol <sup>-1</sup> ·K	-32,939	-26,807	-29,232
$\Delta H_m$ /J·mol <sup>-1</sup> ·K	-37,897	-31,799	-34,235

## 2.3 Fehlerrechnung

Folgende fehlerbehaftete Größen traten während des Versuchs auf:

$$\Delta m = 0,00005 \text{ g}$$

$$\Delta T_0 = 0,1 \text{ K}$$

Die Fehler der Temperaturdifferenzen ergeben sich aus Grenzgeraden der Auftragungen:

$$\Delta \Delta T = \frac{\Delta T_{\max} - \Delta T_{\min}}{2}.$$

**Tabelle mit  $\Delta \Delta T$  für jede Auftragung.**

Zur Fehlerbestimmung wird die Größtfehlerfortpflanzung verwendet:

$$\Delta f = \sum_i \left| \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \right| \cdot \Delta x_i \quad (8)$$

Die Fehler für  $C_{v,m}$  und  $\Delta H_m$  ergeben sich folgendermaßen:

$$\Delta C_{v,m} = \left| -\frac{\Delta H + 0,5 \cdot R \cdot T_0 \cdot n}{\Delta T^2} \right| \cdot \Delta \Delta T + \left| -\frac{\Delta H + 0,5 \cdot R \cdot n}{\Delta T} \right| \cdot \Delta T_0 + \left| -\frac{\Delta H + 0,5 \cdot R \cdot T_0}{\Delta T} \right| \cdot \Delta n \quad (9)$$

$$\Delta \Delta H_m = \left| \frac{1}{\Delta T} \right| \cdot \Delta C_{v,m} + \left| -\frac{C_{v,m}}{\Delta T^2} \right| \cdot \Delta \Delta T + |-2R| \cdot \Delta T \quad (10)$$

**Tabelle mit je Fehlern für  $C_v$  und Delta H.**

## 3 Fehlerdiskussion

**in Tabelle darstellen: alle Ergebnisse inkl. Fehler und Literaturwerte**

gerechnet mit Standardbildungsenthalpien; heißt bei Standardbedingungen 25 Grad die wir aber nicht hatten

Bei der Berechnung der Verbrennungswärme wurde die Wärmekapazität des Kalorimeters bei einer leicht anderen Temperatur verwendet.



## 4 Anhang

Auftragungen

## 5 Literaturverzeichnis

1 *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 84. Auflage; D.R. Lide; CRC Press LLC: Boca Raton, **2004**.

2 <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C65850&Mask=2>; aufgerufen am 10.12.2016.