



Versuchsprotokoll

Versuchsdatum: 11.10.2004

Zweitabgabe:

Durchgeführt von:

Stempel

Kalorimetrie

1. Inhaltsangabe

1..Inhaltsangabe	1
2..Abbildungsverzeichnis	2
3..Aufgabenstellung	2
4..Einleitung	2
5..Versuchsaufbau	4
6..Beschreibung der Versuchsdurchführung	5
6.1.1 Geräteinsatz	5
6.1.2 Durchführung der Messung	5
6.2. Probenvorbereitung	5
6.3. Vorbereitung des Aufschlussgefäßes	5
6.4. Füllen der Kalorimeterbombe mit Sauerstoff	6
6.5. Vorbereiten der Kalorimeter-Messzelle	6
6.6. Start der Messung	6
6.7. Ablauf der Messung	7
7..Auswertung	7
7.1. Messwerttabelle	7
7.1.1 Bestimmung der Wärmekapazität C des Systems	8
7.1.2 Bestimmung von C_v der Benzoesäure	8
7.1.3 Bestimmung der Reaktionsenergie einer unbekanntem Substanz (Änderung der inneren Energie)	10
7.2. Bestimmung Verbrennungsenthalpie von PVP	10
7.3. Fehlerrechnung	11
7.3.1 Fehlerrechnung zur Bestimmung von C am Beispiel von Versuch Nr. 2	11
7.3.2 Fehlerrechnung zur Bestimmung von ? U am Beispiel von Versuch-Nr. 2	12
7.3.4 Fehlerrechnung zur Bestimmung von C_v	13
7.4. Ergebnisse	14



8.. Diskussion-----	14
8.1. Bestimmung der Wärmekapazität C des Systems mithilfe von Benzoesäure-----	14
8.2. Bestimmung der Verbrennungsenthalpie von PVP K90 -----	14
8.3. Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität C_v von Benzoesäure-----	14

2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kalorimeter C4000 Abbildung 2: Kalorimeter-Bombe	4
Abbildung 3: Zünddraht und -faden.....	6
Abbildung 4: Befestigung des Fadens mittels Pinzette	6

3. Aufgabenstellung

- Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimetersystems
- Bestimmung von C_v der Benzoesäure
- Bestimmung der Verbrennungsenthalpie einer Substanz

4. Einleitung

Bei der Kalorimetrie handelt es sich um die Ermittlung der Enthalpien von Verbrennungsvorgängen unter einem Überangebot an Sauerstoff in kalorimetrischen Bomben. Daher rührt auch die Bezeichnung, Enthalpiemetrie. Gemessen wird mit einem adiabatischen Kalorimeter, um eine absolute Isolierung zu gewährleisten. Es gilt der Energieerhaltungssatz, d.h. dass die aufgenommene Wärmemenge der abgegebenen Wärmemenge entspricht. Gemessen wird die Temperaturdifferenz ΔT , welche in den physikalischen Brennwert umgerechnet werden kann. Weiterhin gilt der Heß'sche Satz: Die von einem chemischen System aufgenommene oder abgegebene Wärme ist unabhängig vom Reaktionsweg (U und H sind Zustandsgrößen, welche nur vom Zustand des Systems und nicht vom Reaktionsweg abhängen.) Nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik muss dies gegeben sein, da man sonst beim mehrfachen Durchlauf der Hinreaktion auf dem einen Weg und der Rückreaktion auf einem anderen Weg unbeschränkt Energie gewinnen könnte.

Eine unbekannte organische Substanz wird im adiabatischen Kalorimeter zu CO_2 und Wasser verbrannt und der Temperaturanstieg des Systems gemessen. Durch den Überschuss an Sauerstoff ist eine vollständige Verbrennung gewährleistet.

Zuvor muss mit einer Bezugssubstanz (Benzoesäure) die Wärmekapazität des Kalorimetersystems bestimmt werden.

Die **Wärmekapazität C des Kalorimetersystems** ist die Wärmemenge, die erforderlich ist, um die Temperatur des Systems um 1K zu erhöhen. Dazu wird eine Bezugssubstanz mit be-



kanntem Brennwert unter den gleichen Versuchsbedingungen wie später die zu untersuchende Substanz verbrannt. Normalerweise verwendet man Benzoesäure.

Die Wärmekapazität setzt sich aus der Wärmekapazität des Produktgemisches der Reaktion, des Bombenmaterials und aller mit dem Wasser in Verbindung stehende Materialien zusammen.

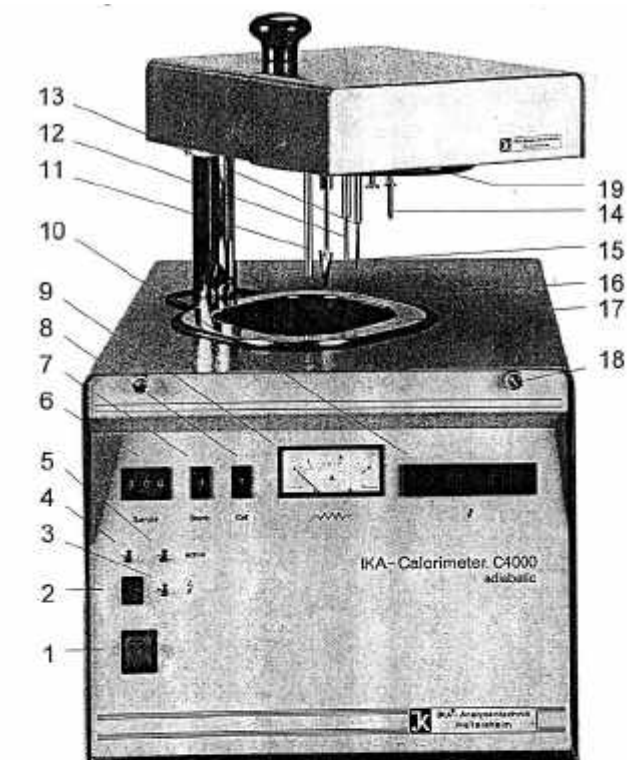
Die **spezifische Wärmekapazität c** bezeichnet das Verhältnis der zugeführten Wärmemenge zum Produkt aus erwärmter Masse und Temperaturdifferenz. Es handelt sich um keine konstante sondern um eine temperaturabhängige Größe. Daher unterscheidet man bei Gasen zwei Arten der spezifischen Wärmekapazität: c_p (Messung bei konstantem Druck) und c_v (Messung bei konstantem Volumen).

Verbrennungsenergie oder Verbrennungswärme DU : Die bei einer Reaktion freiwerdende Wärme pro Mol organischer Verbindung bei konstantem Volumen.

Brennwert H_0 : Die bei einer Reaktion freiwerdende Wärme pro Gramm organischer Verbindung, H_0 kann aus ΔU berechnet werden.

Verbrennungsenthalpie DH : Die bei einer Reaktion freiwerdende Wärme bezogen auf ein Mol organischer Substanz bei konstantem Druck.

5. Versuchsaufbau



- 1 Netzschalter
- 2 Zündtaste

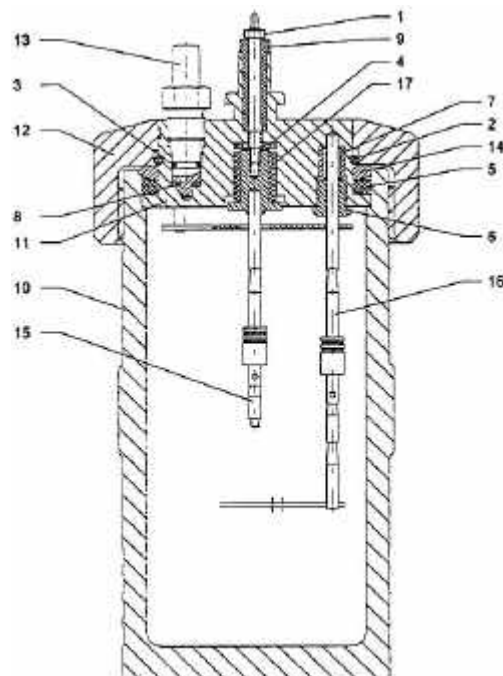
LED Anzeigen:

- 3 gelb: Zündung läuft/erfolgt
- 4 rot: Störung/Fehler
- 5 grün: Messung aktiv/beendet

Kodierschalter zum Eingeben der:

- 6 Probennummer
- 7 Bombennummer
- 8 Meßzellennummern
- 9 Leitfähigkeit des Elektrolyten (Heizanzeige)
- 10 relative Temperaturanzeige
- 11 Temperatursensor I (Meßsensor)
- 12 Temperatursensor II
- 13 Temperatursensor III
- 14 Zündkontakte
- 15 Innenkesselrührer
- 16 Einfüllöffnung Elektrolyt
- 17 Außenmantel
- 18 Frontplattenverschluß

Abbildung 1: Kalorimeter C4000



Pos	Bezeichnung
1	Sechskantmutter
2	Sprengring
3	O-Ring
4	Flachdichtung
5	Dichtungsring
6	Klemmnippel
7	Gummifeder
8	O-Ring
9	Lagerbuchse
10	Unterteil - Aufschlussgefäß
11	Deckel - Aufschlussgefäß
12	Überwurfmutter
13	Auslassventil
14	Druckring
15	Elektrode
16	Schalenträger

Abbildung 2: Kalorimeter-Bombe



6. Beschreibung der Versuchsdurchführung

6.1.1 Geräteinsatz

6.1.2 Durchführung der Messung

Achtung:

Das Gerät darf ohne gefüllten Außenkessel nicht eingeschaltet werden, da sonst die Pumpe durch Trockenlauf zerstört werden kann !

Das Gerät ist an Kühlwasser anzuschließen. Bedingung für den Wasseranschluss ist, dass die Wassertemperatur unter 19°C, liegt und ein Durchfluss von 2 L/min gewährleistet ist.

Es ist auf konstante Wassertemperatur und –durchfluss zu achten.

Öffnen Sie den Deckel. Schalten Sie das Gerät ein. Unmittelbar nach dem Einschalten erfolgt automatisch ein Selbsttest:

- Rührmotor (15) läuft für ca. 1 sec.
- Heizung (9) wird kurzzeitig eingeschaltet
- die 3 LEDs (3, 4, 5) blinken fünf Mal; gleichzeitig ertönt fünf mal ein Piepton.

Falls dieser Selbsttest nicht ordnungsgemäß abläuft, ist das Gerät nicht einsetzbar.

6.2. *Probenvorbereitung*

Normalerweise können feste Verbrennungssubstanzen in Pulverform direkt verbrannt werden. Dazu wird die Substanz auf 0,1 mg genau in den Tiegel eingewogen. Schnellverbrennende Substanzen, d.h. Substanzen, bei denen die Verbrennung explosionsartig abläuft (z.B. Benzoesäure), dürfen nicht in loser Form verbrannt werden. Diese Substanzen neigen zum Spritzen und deshalb wäre keine vollständige Verbrennung mehr gewährleistet. Das Aufschlussgefäß könnte beschädigt werden. Solche Substanzen müssen vor dem Verbrennen zu Tabletten gepresst werden. Viele flüssige Substanzen können auch direkt in den Tiegel eingewogen werden. Will man aber leichtflüchtige Substanzen verbrennen, benutzt man dazu Gelatinekapseln oder Acetobutyratkapseln die mit der zu bestimmenden Substanz "gefüllt" werden. Als Brennhilfsmittel für niedrigkalorische oder schwer entzündbare Substanzen können ebenfalls diese Kapseln oder die Verbrennungstüchchen aus Polyethylen verwendet werden.

6.3. *Vorbereitung des Aufschlussgefäßes*

Das Aufschlussgefäß muss sauber und trocken sein, da alle Fremdteile, insbesondere Wasser, die Wärmekapazität und somit das Messergebnis verfälschen.

Das Aufschlussgefäß wird im einzelnen wie folgt vorbereitet:

- Überwurfmutter des Aufschlussgefäßes abschrauben und den Deckel herausnehmen
- Kontakthülsen auf den Elektroden nach hinten schieben.
- Das eine Ende des Zünddrahtes in die Bohrung der Elektrode mit dem Tiegelhalter stecken. Dann die Hülse wieder nach vorne schieben. Dadurch wird der Zünddraht festgeklemmt (siehe Abb.).
- Danach das andere Ende des Drahtes auf die gleiche Art und Weise an der anderen Elektrode befestigen.
- Mit leichtem Zug nochmals prüfen, ob der Zünddraht fest sitzt.

- An diesem Draht wird mittig mit einer Schlaufe ein Baumwollfaden befestigt.
- Nachdem die zu verbrennende Probe gewogen wurde, kann der Tiegel in den Tiegelhalter eingesetzt werden.
- Der Baumwollfaden muss nun so mit einer Pinzette ausgerichtet werden, dass er in den Tiegel hineinhängt und die Probe möglichst berührt. Somit wird gewährleistet, dass beim Zündvorgang der brennende Faden auf die Probe herunterfällt und diese entzündet.
- Der Deckel wird wieder in das Aufschlussgefäß gesetzt und die Überwurfmutter aufgeschraubt.



Abbildung 3: Zünddraht und -faden

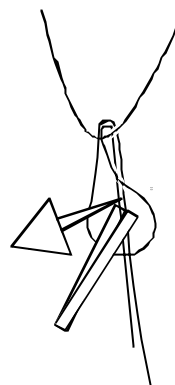


Abbildung 4: Befestigung des Fadens mittels Pinzette

6.4. Füllen der Kalorimeterbombe mit Sauerstoff

Die verschlossene Bombe wird in den Aufnahmeteller der Füllstation C48 gestellt. Das Hauptventil der Sauerstoffflasche wird aufgedreht. Die Vordruckanzeige sollte 35 bis 40 bar anzeigen. Den Hebel der Füllstation herunterdrücken bis das Hinterdruckmanometer 30 bar anzeigt.

6.5. Vorbereiten der Kalorimeter-Messzelle

Der Innenkessel wird mit ca. 1800 g Wasser von 25°C gefüllt. Wichtig hierbei ist nicht die absolute Wassermenge; es muss nur gewährleistet sein, dass das ganze Aufschlussgefäß, bis auf das Auslass- und Einlassventil, mit Wasser bedeckt ist und dass bei jedem Versuch, einschließlich der Kalibrierung, die exakt gleiche Wassermenge in den Innenkessel gefüllt wird. Anschließend wird der Innenkessel ins Kalorimeter gestellt (der eingeklappte Tragegriff muss nach vorne zeigen), das gefüllte Aufschlussgefäß (Kalorimeter-Bombe) mit dem Tragebügel in den Innenkessel gesetzt und der Deckel des Kalorimeters geschlossen.

6.6. Start der Messung

Der Deckel des Kalorimeters wird geschlossen. Damit startet die Messung. Lässt er sich nicht schließen ist der Innenkessel oder die Bombe nicht korrekt positioniert. Bei Alarm ist entweder der Deckel nicht richtig positioniert, oder der Zünddraht hat keinen Kontakt.



6.7. Ablauf der Messung

Es wird die Temperatur jeweils im Außenkessel und Innenkessel gemessen. Mit der integrierten Heizung bzw. der von außen angelegten Kühlung wird der Außenkessel der Temperatur des Innenkessels angeglichen. Sobald der Temperaturdrift kleiner 0,4 mK/min beträgt, wird über ein akustisches Signal zum Ablesen der Temperatur aufgefordert. (es muss innerhalb von 3 min abgelesen werden sonst wird der Versuch angebrochen).

Danach wird die Zündung durch Tastendruck ausgelöst.

Die Temperaturanzeige steigt an und erreicht nach ca. 8-14 min einen konstanten Wert. Das Versuchsende wird wiederum durch ein akustisches Signal angezeigt. Der zweite Wert kann dann abgelesen werden.

Zur Bestimmung der Wärmekapazität des Systems (Kalorimeterbombe, Wasser, etc.) wird ca. 1 g Benzoesäure mit Brennwert 26,45 kJ/g benützt. Zur Bestimmung der Wärmekapazität von Benzoesäure wird die Verbrennungsenergie jeweils bei einer Ausgangstemperatur von 20, 25 und 30 °C bestimmt. Die Bestimmung der Verbrennungsenthalpie einer weiteren Substanz wird mit ca. 1 g und 3 Wiederholungen durchgeführt.

7. Auswertung

7.1. Messwerttabelle

Substanz		Substanzeinwaage			Temperaturanzeige			Temperaturmessung
Nr	Bezeichnung	m_1 / g	m_2 / g	m / g	T_{Start}	T_{End}	DT / °C	T_{End} / °C
1	Benzoes.	5,8630	6,9052	1,0422	-4,458	-1,463	2,995	23,3
2	Benzoes.	5,8637	6,7794	0,9157	-0,143	2,548	2,691	27,5
3	Benzoes.	5,7834	6,9467	1,1633	4,840	8,241	3,401	32,5
4	PVP	5,8630	6,9216	1,0586	0,026	3,312	3,286	28,1
5	PVP	5,7830	6,8220	1,0390	-0,177	3,052	3,229	27,8
6	PVP	5,8642	6,9200	1,0558	0,321	3,558	3,237	28,3

m_1 : Tiegel leer

m_2 : Tiegel mit Probe

m : $m_2 - m_1$



Rechnerische Auswertung

7.1.1 Bestimmung der Wärmekapazität C des Systems

Substanz: Benzoesäure $H_0 = 26450 \pm 10 \text{ J/g}$; $Q_F = 50 \text{ J}$

$$C = \frac{DU \times n + Q_F}{DT} \text{ bzw. } C = \frac{H_0 \times m + Q_F}{DT} \quad C / \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$$

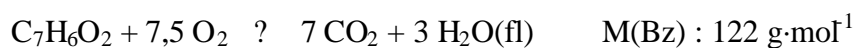
Versuch Nr.	Einwaage m / g	$DT / ^\circ\text{C}$	$C / \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$	$T_{\text{End}} / ^\circ\text{C}$
2	0,9157	2,691	9019	27,5

Die Fehlerquellen

$D H_0$	$\pm 10 \text{ J/g}$
Dm	$\pm 0,0001 \text{ g}$
$D(DT)$	$\pm 0,001 \text{ } ^\circ\text{C}$

7.1.2 Bestimmung von C , der Benzoesäure

Für die Reaktion gilt:



$$D_r U' = D_r U + D_r C_v \cdot DT$$

$$D_r C_v = \frac{\Delta_r U' - \Delta_r U}{\Delta T}$$

Bei 25°C : Benzoesäure $H_0 = 26450 \pm 10 \text{ J/g}$; $C = 9019 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$;

$$\text{Es gilt: } H_0 = \frac{C \times DT - Q_F}{m} ; ?U = H_0 \cdot M_{\text{Bz}}$$



Versuch Nr.	Einwaage m / g	$DT / ^\circ C$	$T_{End} / ^\circ C$	$H_0 / kJ \cdot g^{-1}$	$?U / kJ \cdot mol^{-1}$
1	1,0422	2,995	23,54	25,87	-3156
2	0,9157	2,691	27,55	26,45	-3227
3	1,1633	3,401	33,24	26,32	-3212

$$DrC_v = \frac{DrU' - DrU}{DT}$$

$$?T = T' - T$$

$$C_v(\text{Benzoessäure}) = 3 C_v H_2O(l) + 7 C_v CO_2(g) - 7,5 C_v O_2(g) - ? , C_v$$

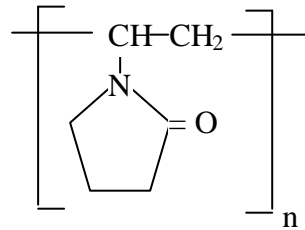
Differenz Versuch Nr	$\Delta r C_v / J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$	$C_v \text{ Benzoes.} / J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$	Literaturdaten	
			$C_v H_2O(fl)$	
1_2	-16389	16658	$C_v O_2(g)$	75,3 $J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
1_3	-5904	6174	$C_v CO_2(g)$	21,1 $J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
2_3	3183	-2914	Bei Flüssigkeiten $C_p = C_v$	
	Mittelwert	6640	stabw	9794

$$\text{Lit.: } C_v(\text{Benzoessäure}) = 147 J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$$



7.1.3 Bestimmung der Reaktionsenergie einer unbekanntensubstanz (Änderung der inneren Energie)

Substanzbezeichnung: PVP



Molmasse (Monomer): $111 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

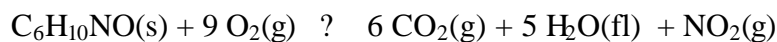
$$DU = \frac{C \times DT - Q_F}{n} \quad DU / \text{J}\cdot\text{mol}^{-1} \quad H_0 = \frac{C \times DT - Q_F}{m} \quad H_0 / \text{J}\cdot\text{g}^{-1}$$

Versuch Nr.	Einwaage m / g	DT / K	T _{End} / °C	H ₀ / kJ·g ⁻¹	?U / kJ·mol ⁻¹
4	1,0586	3,286	28,1	27,95	-3102
5	1,0390	3,229	27,8	27,98	-3106
6	1,0558	3,237	28,3	27,60	-3064
Mittelwert:					-3091
StAbw.:					± 23

7.2. Bestimmung Verbrennungsenthalpie von PVP

$$DU = DH + w$$

$$DU = DH + Dn \cdot R \cdot T$$



$$Dn = -2 \text{ mol}$$

$$DH = DU - Dn \cdot R \cdot T$$

$$?U = -3091 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$DH = -3091 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} + 5013 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$DH = -3086 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$



7.3. Fehlerrechnung

Fehlerabschätzung:

$$H_0 = 26450 \pm 10 \text{ J/g}$$

Einwaagefehler: 0,0001 g

Messfehler Kalorimeter: 0,001 °C

Molmasse und Q_F werden als konstant angenommen

7.3.1 Fehlerrechnung zur Bestimmung von C am Beispiel von Versuch Nr. 2

Bestimmungsgleichung:
$$C = \frac{H_0 \times m + Q_F}{DT}$$

$$\frac{DC}{C} = \frac{m \times DH_0}{H_0 \times m + Q_F} + \frac{H_0 \times Dm}{H_0 \times m + Q_F} + \frac{D(DT)}{DT}$$

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{0,9157 \cdot 10}{26450 \cdot 0,9157 + 50} + \frac{26450 \cdot 0,0001}{26450 \cdot 0,9157 + 50} + \frac{0,001}{2,691}$$

$$\frac{\Delta C}{C} = 3,7729 \cdot 10^{-4} + 1,0898 \cdot 10^{-4} + 3,7161 \cdot 10^{-4} = 8,5788 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta C = 8,5788 \cdot 10^{-4} \cdot 9019 = 7,7372 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \approx 7,7 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$



7.3.2 Fehlerrechnung zur Bestimmung von ΔU am Beispiel von Versuch-Nr. 2

Bestimmungsgleichung:
$$\Delta U = \frac{C \times \Delta T - Q_F}{m} \cdot M$$

$$7.3.3 \quad \frac{D(\Delta U)}{\Delta U} = \frac{(\Delta T)DC + CD(\Delta T)}{C \times \Delta T - Q_F} + \frac{Dm}{m}$$

$$\frac{\Delta(\Delta U)}{\Delta U} = \frac{2,691 \cdot 7,7 + 9019 \cdot 0,001}{9019 \cdot 2,691 - 50} + \frac{0,0001}{0,9157} = 1,34 \cdot 10^{-3}$$

$$D(\Delta U) = -3227 \cdot 1,34 \cdot 10^{-3} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \sim \pm 4,1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



7.3.4 Fehlerrechnung zur Bestimmung von C_v

Beispiel: Vergleich 1_3 (Messung 1 und 3 siehe 7.1 Messwerttabelle)

$$T_1 = -4,458; \quad ?U_1 = -3156 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \pm 4,3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$T_3 = -4,840; \quad ?U_3 = -3212 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \pm 4,3 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Anmerkung: T_x ist die jeweilige Starttemperatur T_{Start} aus 7.1

$$\text{Bestimmungsgleichung: } DrC_v = \frac{DrU' - DrU}{DT}$$

$$?rU' = ?U_3$$

$$?rU = ?U_1$$

$$?T = T_3 - T_1$$

Mit $DrU \gg DrU'$

$$\frac{D(DrC_v)}{DrC_v} = \frac{2D(DrU)}{DrU' - DrU} + \frac{D(DT)}{DT}$$

$$\frac{\Delta(\Delta rC_v)}{\Delta rC_v} = \frac{2 \cdot 4,3}{-3156 - 3212} + \frac{0,001}{9,298} = 0,156 = \mathbf{15,6\%}$$

$$\Delta(\Delta rC_v) = 0,156 \cdot \Delta rC_v = 0,156 \cdot (-5965) \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1} \sim \pm 932 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$\Delta rC_v = -5965 \pm 932 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Literaturwert: $DrC_v = 147 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$



7.4. Ergebnisse

Die Wärmekapazität des Kalorimetersystems beträgt: $9019 \pm 8 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$

Die Reaktionsenergie für die Verbrennung der Substanz: PVP beträgt: $-3091 \pm 23 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

Die Verbrennungsenthalpie von PVP beträgt bei 25°C : $-3086 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \pm 23 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

Die Wärmekapazität C_v von Benzoesäure beträgt: $6640 \pm 9794 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$

8. Diskussion

8.1. Bestimmung der Wärmekapazität C des Systems mithilfe von Benzoesäure

Bei einer Temperatur von 25°C wurde ein Wert von $9019 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$ als Wärmekapazität des Systems ermittelt. Die Fehlerrechnung ergab einen Fehler von $\pm 8 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$, was einem relativen Fehler von 0,09% entspricht und somit vernachlässigbar ist. Da nur eine Messung bei 25°C gemacht wurde, kann keine Standardabweichung bestimmt werden.

8.2. Bestimmung der Verbrennungsenthalpie von PVP K90

Bei einer Temperatur von 25°C werden drei Messungen durchgeführt. Der Mittelwert der Reaktionsenergien beträgt $-3091 \pm 23 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Die Verbrennungsenthalpie beträgt somit $-3086 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. Auch hier beträgt der systematische Fehler $\pm 23 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. Dies entspricht einem relativen Fehler von 0,75%.

8.3. Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität C_v von Benzoesäure

Unter Einbeziehung der Reaktionsgleichung kann die spezifische Wärmekapazität von Benzoesäure ermittelt werden. Der Literaturwert beträgt $147 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$. Ermittelt wurde ein Wert von $6640 \pm 9794 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$. Zum einen weicht der ermittelte Wert sehr stark vom Literaturwert ab und zum anderen liegt ein enormer systematischer Fehler von 147,5% vor. Dies lässt sich auch schon an den unmittelbaren Messwerten abschätzen. Bei der Bestimmung der Wärmekapazität des Systems wurden Temperaturdifferenzen von $2,6$ bis $3,4^\circ\text{C}$ ermittelt. Bei der Bestimmung der Verbrennungsenthalpie von PVP K90 betrug die Schwankung nur ca. $0,1^\circ\text{C}$, womit auch der geringere systematische Fehler zu erklären ist.

Ablesefehler, sowie eine Störung des adiabatischen Systems sind denkbar. Z.B. dadurch, dass kleine Wassermengen in den adiabatischen Mantel gelangt sind.

Da der gesamte Versuch auf der Bestimmung der Wärmekapazität des Systems aufbaut, und hier schon ein massiver Messfehler vorliegt, sind die weiteren Ergebnisse nicht aussagekräftig. Eine größere Anzahl an Versuchen wäre für eine genaue Bestimmung notwendig.