

Verbrennungswärme von Alkohol und Schokolade

Zusammenfassung

Die Verbrennungswärmen von Ethanol, weißer und brauner Schokolade wurden mit Hilfe eines isoperibolen Bombenkalorimeters, das in einem Wasserbad steht, bei Raumtemperatur bestimmt. Dabei wurden die Stoffe isobar verbrannt und der zeitliche Verlauf der Temperaturdifferenz des Wassers im Wasserbad mit einem Computer aufgenommen. Aus diesen Messwerten wurde dann mit Hilfe des Auswertungsprogramms Joule die Verbrennungswärmen bestimmt.

Resultate

Molare Verbrennungswärme und -enthalpie von Alkohol:

$$\Delta_c U = -1440 \pm 60 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_c H =$$

Spezifische Verbrennungswärme von weißer Schokolade:

$$q_p = -2297 \pm 5 \text{ kJ/mol}$$

Spezifische Verbrennungswärme von brauner Schokolade:

$$q_p = -2380 \pm 20 \text{ kJ/mol}$$

Assistent: Patrick Stoller (PaSt)

Zürich, den 16.05.2003

Hans Christian Lehmann Aleksander Sikanjic

1. Einführung

Die Verbrennungswärme und Verbrennungsenthalpie wurden mittels eines isoperibolen Kalorimeters bestimmt. Es ging darum, aus dem beobachteten Temperaturverlauf, bei dem eine bekannte Menge Substanz in einer Stahlbombe bei hohem Druck unter quasi-adiabatischen Bedingungen verbrannte, die Verbrennungswärme der Substanz zu bestimmen. Bei dem Experiment wurde Benzoesäure, Ethanol, braune sowie schwarze Schokolade verwendet. Durch einen hohen Sauerstoffdruck konnte die Verbrennung beschleunigt werden und lief vollständig ab.

Die Änderung der inneren Energie dU ist gleich der Summe der mit der Umgebung ausgetauschten Wärme δQ und der Volumenarbeit δW :

$$dU = \delta Q + \delta W.$$

Die am System geleistete Arbeit δW , in dem chemische Reaktionen ablaufen, wird durch

$$\delta W = -p dV$$

bestimmt, wobei δV die Volumenänderung bezeichnet.

Das Bombenkalorimeter, welches bei der Messung verwendet wurde, ist in zwei Teile gegliedert. Der erste Teil ist der Innenraum der Bombe, in dem die vollständige Verbrennung der zu untersuchenden Substanz stattfindet. Der zweite Teil besteht aus einem Wasserbad, das die Bombe umgibt. Durch die Temperaturänderung des Wassers bei konstantem Druck lässt sich die Temperaturänderung des gesamten Systems bestimmen. Da die Verbrennung bei quasi- konstantem Volumen stattfindet, wird $pdV = 0$ angenommen.

Des weiteren gilt:

$$dU = \delta Q - pdV = C_V dT + (\delta U/\delta V)_{T,\xi} dV + \Delta_c U d\xi$$

$$dH = \delta Q + Vdp = C_P dT + (\delta H/\delta p)_{T,\xi} dp + \Delta_c H d\xi$$

wobei $\Delta Q = -(C_V + C_P) \Delta T$ ist.

Durch die weitere Annahme, dass die Wärmekapazität des ersten Teils wegen dem Größenunterschied zum zweiten Teil vernachlässigt wird, kann C_V durch C_P ersetzt werden. Dies wird mit C_P^K bezeichnet.

Die gesamte Verbrennungswärme kann durch die Summe der Verbrennungswärmen von Probe und Draht bestimmt werden:

$$Q_{\text{tot}} = Q_P + Q_S = m_P q_P + l_D q_D .$$

Es wurde zunächst eine Kalibration mit Benzoesäure vorgenommen, da diese Verbrennungswärme bekannt war, um die spezifische Wärmekapazität C_P^K des Bombenkalorimeters zu bestimmen:

$$C_P^K = - (m_B q_B + l_D q_D) / \Delta T_B$$

Dabei bezeichnet ΔT_B die gemessene Temperaturdifferenz, l_D die Länge des verbrannten Zünddrahtes und q_D dessen Verbrennungswärme.

Schließlich konnte die molare Verbrennungswärme $\Delta_C U$ durch Modifikation der letzten Gleichung mit dem soeben bestimmten C_P^K ermittelt werden:

$$\Delta_C U = 1/n_P (-C_P^K \Delta T - l_D q_D - n_S q_S) = 1/n_P (((m_B q_B + l_D q_D) / \Delta T_B) \Delta T - l_D q_D)$$

wobei $n_P = m_P / M_P$ ist.

Bei adiabatischen Bedingungen ergibt sich für die Verbrennungsenthalpie $\Delta_C H$:

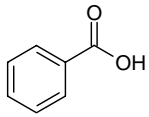
$$\Delta_C H = \Delta_C U + RT_A \sum v_i^{(g)} + R \Delta T (1/n_R(0)) \sum n_i^{(g)}(0)$$

Da $R \Delta T (1/n_R(0)) \sum n_i^{(g)}(0)$ sehr klein ist, kann es vernachlässigt werden. Bei $T = 298.15 \text{ K}$ gilt $RT_A = 2.5 \text{ kJ/mol}$.

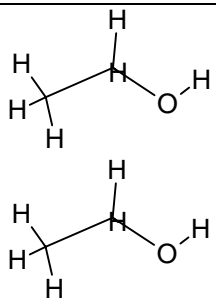
2. Experimentelles

2.1 Substanzen

Benzoessäure: $C_7H_6O_2$ MG: 122,12 g/mol GK 4



Gesundheitsschädlich beim Verschlucken. Reizt Augen, Atmungsorgane und Haut. Sensibilisierung durch Einatmen und Hautkontakt möglich. Staub nicht einatmen.

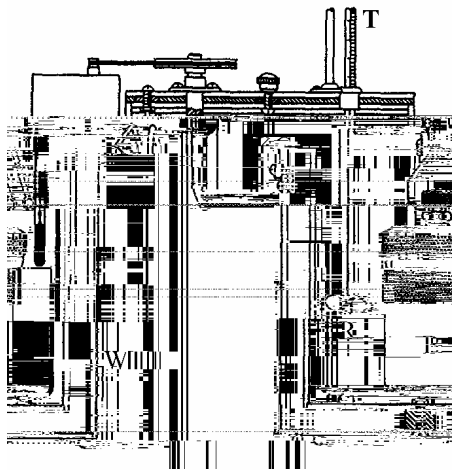
<i>Ethanol</i>	C_2H_5OH MG: 46,08 g/mol GK: 5
	Mindergiftig beim Verschlucken. Leicht entzündlich.

Verwendete Schokolade:

1. Braune Schokolade: COOP 2291 kJ/100 Gramm
2. Schwarze Schokolade: COOP

2.2 Messgeräte

Der Aufbau des verwendeten *PARR 1341 Bombenkalorimeters* ist in der folgenden Grafik dargestellt:



- T: Halbleiter Temperatursensor: NATIONAL SEMICONDUCTOR LM 35, Empfindlichkeit von 10 mV/K.
R: Rührer, dient dem Temperaturnausgleich im Kalorimeter.
B: Stahlbombe, in der die Verbrennung stattfindet.
W: Verchromter Wasserkanister.
KG: Kunststoffgefäß, isolierend.

Zur Zündung wurde eine dünner *Zünddraht* (PARR 45C10 Nickel/Chrom), durch den ein kurzer Stromstoß geschickt wurde, um die Versuchsobjekte gewickelt.

2.3 Messungen

Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters

Um die Wärmekapazität des Kalorimeters zu erhalten, wurden zuerst drei Messungen mit reiner Benzoesäure, deren Verbrennungswärme genau bekannt ist, durchgeführt. Anschließend wurden von Alkohol, weißer und brauner Schokolade ebenfalls jeweils drei Messungen durchgeführt.

Probenvorbereitung

Für die Messungen wurde jeweils ein Gramm einer Substanz genau eingewogen. Die Benzoesäure wurde in Form gepresster Pillen, die mit einem speziellen Pressgerät hergestellt worden waren, gemessen. Der Alkohol wurde in kleine Kapseln aus Gelatine, die zur Kalibrierung einmal leer gemessen wurden, gefüllt. Diese Kapseln wurden dann mit dem Zünddraht umwickelt. Die Schokoladen wurden in kleinen Stücken verwendet.

Versuchsbedingungen

Durch die Verwendung eines hohen Sauerstoffüberschusses - es wurde mit 30 bar Druck in reiner Sauerstoff Atmosphäre gearbeitet - wurde eine vollständige Verbrennung erzielt, das heißt, daß als Rückstände blieben hauptsächlich fast nur CO_2 und H_2O entstanden. Da bei der Verbrennung auch ein Teil des Zünddrahtes verbrannte, musste bei jeder Messung noch um **5,86 kJ/g** verbranntem Draht korrigiert werden. Des weiteren wäre laut Versuchsvorschrift auch bei Stickstoff- oder Schwefelhaltigen Substanzen eine Korrektur nötig. Die Verbrennungsprodukte von Stickstoff und Schwefel sind N_xO_y und SO_x , welche mit Wasser die entsprechenden Säuren bilden. Diese Säurebildung verfälscht das Ergebnis. Durch Titration der sauren Rückstände könnte die Menge an Stickstoff und Schwefel bestimmt werden und die Verbrennungswärme danach korrigiert werden.

Messdatenerfassung

Ein Computer zeichnete die darauffolgende Temperaturänderung des Wasserbades in Intervallen von einer Sekunde auf. Um die erhaltenen Kurven sinnvoll mit dem Computer bearbeiten zu können, musste die Messung 60 Sekunden vor Zündung, für die Equilibrierung des Wasserbades, begonnen werden. Die Messung wurde dann 60 Sekunden nach Erreichen der Temperaturkonstanz abgebrochen. Dadurch betrug die Gesamtmesszeit ungefähr 420 Sekunden. Dadurch wurden zwei, einer Geraden ähnlichen, Abschnitte der Kurve erhalten, diese wurden dann bei der Auswertung, durch das Computerprogramm *Joule*, zur Berechnung von ΔT , der Temperaturänderung, verwendet.

2.4 Sicherheit [1] [2]

Bei der Durchführung der Messungen mussten einige Sicherheitsvorschriften eingehalten werden:

- Es war darauf zu achten, daß keine offenen Flammen im Labor vorhanden waren, da durch die Verwendung von reinem Sauerstoff eine erhöhte Brandgefahr herrschte.
- Beim Einfüllen der Bombe mit Sauerstoff durfte ein Innendruck von maximal 30 bar erreicht werden, da dieser während der Verbrennung schlagartig zunimmt.
- Wenn beim Eintauchen der Bombe im Wasserkanister Gasblasen festgestellt wurden, musste diese wieder entlüftet und neu präpariert werden.

3. Resultate und Auswertung

Statistische Auswertung

Benzooesäure

	m [g]	ΔT [K]	q_p [J/g]	$\Delta_c U$ [kJ/mol]
1. Messung	1,0013	2,399	-26487,2955	6309,760352
2. Messung	0,9973	2,464	-27311,4181	6507,351288
3. Messung	1,0016	2,35	-25940,5093	6178,552716
Mittelwert	1,00006667	2,40433333	-26579,741	6331,888119
Standardabweichung	0,00240069	0,05718683	690,114013	165,5123981
Mittlere Abweichung	0,00184444	0,03977778	487,784753	116,9754466

Ethanol

	m [g]	ΔT [K]	q_p [J/g]	Δq_p [J/g]	$\Delta_c U$ [kJ/mol]
1. Messung	0,5249	1,537	-32438,8518	-31201,58041	-1492,18718
2. Messung	0,5094	1,476	-32106,9167	-30869,64534	-1476,91817
3. Messung	0,5182	1,373	-29372,3672	-28135,09587	-1351,12889
Mittelwert	0,5175	1,462	-31306,0452	-30068,77388	-1440,07808

<i>Standardabweichung</i>	0,00777367	0,0828915	1682,81852	1682,818525	77,4096521
<i>Mittlere Abweichung</i>	0,0054	0,05933333	1289,11867	1289,118668	59,2994588
q_p Gelkapsel	-1237,27135				

Braune Schokolade

	m [g]	ΔT [K]	q_p [J/g]	$\Delta_c U$ [kJ/mol]
1. Messung	1,0089	2,194	-24049,696	5725,12066
2. Messung	1,0024	2,145	-23667,2221	5633,030327
3. Messung	1,0005	2,141	-23668,131	5633,15958
Mittelwert	1,00393333	2,16	-23795,0163	5663,770191
Standardabweichung	0,00440492	0,02951271	220,559497	53,13110911
Mittlere Abweichung	0,00331111	0,02266667	169,78642	40,9003166

Weißer Schokolade

	m [g]	ΔT [K]	q_p [kJ/g]	$\Delta_c U$ [kJ/mol]
1. Messung	1,0032	2,084	-22978,6019	5467,807656
2. Messung	1,0103	2,104	-23035,1631	5481,710225
3. Messung	1,0061	2,083	-22901,4202	5449,419819
Mittelwert	1,00653333	2,09033333	-22971,7284	5466,312566
Standardabweichung	0,00356978	0,01184624	67,1358455	16,19703805
Mittlere Abweichung	0,00251111	0,00911111	46,8721286	11,26183155

4. Diskussion

Die ganze Versuchsreihe verlief ohne Probleme. Man musste nur bei der Anbringung des Zünddrahtes darauf achten, daß die beiden Enden sich nicht berühren, so daß nicht ein Kurzschluss geschieht, was eine unvollständige Verbrennung zur Folge hätte.

Literaturwert für die Verbrennungsenthalpie $d_c H$ von Alkohol [4]: 1366,8 kJ/mol

5. Literatur

- [1] Physikalisch-chemisches-Praktikum I, *Versuchsanleitung Verbrennungswärme*, Zürich, **1996**.
- [2] E. Meister, *Grundpraktikum Physikalische Chemie*, Zürich, **2000**.
- [3] Merck KGaA, *Chemische Reagenzien 1999/2000*, Darmstadt, **1999**.
- [4] D. Lide (Herausgeber), *Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press, **2003**.